

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
21. Dezember 2000 (21.12.2000)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 00/77928 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: H03H 7/46, H01F 1/153

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE00/01875

(22) Internationales Anmeldedatum:  
8. Juni 2000 (08.06.2000)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
199 26 699.9 11. Juni 1999 (11.06.1999) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): VACUUMSCHMELZE GMBH [DE/DE]; Grüner  
Weg 37, D-63450 Hanau (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): PETZOLD, Joerg  
[DE/DE]; Varangeviller Strasse 2, D-63486 Bruchköbel  
(DE). BEICHLER, Johannes [DE/DE]; Maistrasse 14,  
D-63110 Rodgau (DE). HEUMANN, Dirk [DE/DE];  
Bahnhofstrasse 109, D-61130 Nidderau (DE).

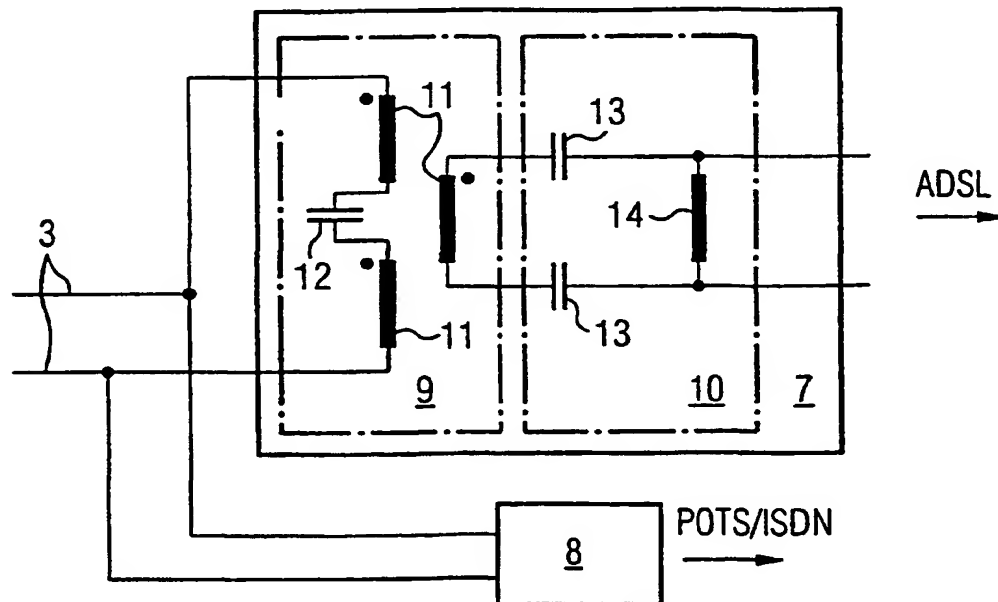
(74) Anwalt: SCHMUCKERMAIER, Bernhard; Westphal,  
Mussnug & Partner, Mozartstrasse 8, D-80336 München  
(DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AL, AM, AT, AU,  
AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE,  
DK, DM, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID,  
IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT,  
LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL,  
PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ,  
UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: HIGH-PASS BRANCH OF A FREQUENCY SEPARATING FILTER FOR ADSL SYSTEMS

(54) Bezeichnung: HOCHPASSZWEIG EINER FREQUENZZWEICHE FÜR ADSL-SYSTEME



(57) Abstract: The invention relates to a high-pass branch (7) of a frequency separating filter for ADSL systems comprising inductive components (11, 14) which dispose of magnet cores made of a soft magnetic amorphous or nanocrystalline material. As a result, frequency separating filters are provided which comprise small structural shapes and which have especially beneficial properties in the relevant frequency and temperature range.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 00/77928 A1



(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

**Veröffentlicht:**

— *Mit internationalem Recherchenbericht.*

(57) Zusammenfassung: Ein Hochpaßzweig (7) einer Frequenzweiche für ADSL-Systeme weist induktive Bauelemente (11, 14) auf, die über Magnetkerne aus einem weichmagnetischen amorphen oder nanokristallinen Material verfügen. Dadurch ergeben sich für die Frequenzweichen kleine Bauformen mit besonders günstigen Eigenschaften im relevanten Frequenz- und Temperaturbereich.

## Beschreibung

## Hochpaßzweig einer Frequenzweiche für ADSL-Systeme

5 Die Erfindung betrifft eine Frequenzweiche mit einem Tiefpaßzweig für niederfrequente Signale insbesondere analoger Kommunikationssysteme und mit einem Hochpaßzweig für hochfrequente Signale digitaler Kommunikationssysteme mit einer Vielzahl von induktiven Bauelementen mit Magnetkernen.

10 Als Magnetkerne wurden bisher RM4, RM6, RM8 sowie andere Ferrit-Schalenkerne aus Kernwerkstoffen wie beispielsweise N27 und N48 eingesetzt. Die erforderliche Klirrfaktor Anforderung wurde dabei mittels Scherung durch Schlitzen des Magnetkerns erreicht.

Ein Nachteil der Scherung ist, daß sie einen Rückgang der effektiv wirksamen Kernpermeabilität bis auf Werte um 200 bewirkt. Zum Erreichen der erforderlichen Hauptinduktivität, der niedrigen Einfügedämpfung im Sperrbereich und der erforderlichen Aussteuerbarkeit muß beim Hochpaßzweig mit Ferritkernen konstruktionsbedingt das Volumen sehr groß ausgelegt werden, so daß aus Ferritkernen hergestellte Hochpaßzweige viel Platz in Anspruch nehmen. Aus den wegen der niedrigen Permeabilität hohen Windungszahlen von primär- und sekundärseitiger Bewicklung der Ferritlösungen resultieren weiterhin hohe Koppel- und Wicklungskapazität und Streuinduktivität, die zu Störeffekten führen können.

Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Frequenzweiche zu schaffen, deren Hochpaßzweig für Hochfrequenzsignale digitaler Kommunikationssysteme geeignet ist und ein geringes Bauvolumen aufweist.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, daß der Hochpaßzweig wenigstens ein Bauelement mit einem Magnetkern aus einer amorphen oder nanokristallinen Legierung umfaßt.

Amorphe und nanokristalline, weichmagnetische Legierungen weisen im Vergleich zu Ferriten eine wesentlich höhere Permeabilität auf. Es ist jedoch schwierig, Magnetkerne aus einer amorphen oder nanokristallinen, weichmagnetischen Legierung so herzustellen, daß die Hystereseschleife die für den Einsatz in digitalen Breitbandkommunikationssystemen erforderliche Linearität aufweist. Ein hohes Maß an Linearität ist aber erforderlich, um die gestellten Anforderungen an den Klirrfaktor zu erfüllen. Da jedoch die magnetische Aussteuerung des Magnetkerns mit zunehmenden Frequenzen abnimmt, sind bei großen Aussteuerungen auftretende Abweichungen von einer idealen linearen Hystereseschleife für hohe Frequenzen unschädlich. Demnach ist es möglich, für die induktiven Bauelemente im Hochpaßzweig der Filterweiche amorphe oder nanokristalline weichmagnetische Legierungen vorzusehen.

Für die Verwendung im Hochpaßzweig der Frequenzweiche bevorzugte Legierungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Im folgenden wird die Erfindung im einzelnen anhand der beigefügten Zeichnung beschrieben. Es zeigen:

Figur 1 eine Übersicht über die Verbindung zwischen einer Ortsvermittlungsstelle und einem teilnehmerseitigen Netzabschluß;

Figur 2 eine Frequenzweiche, die einen Hochpaßzweig und einen Tiefpaßzweig aufweist;

3

Figur 3 ein Diagramm, das beispielhaft die Abhängigkeit des Frequenzgangs der Permeabilität von der Dicke der für die Herstellung eines Magnetkerns verwendeten Bänder zeigt;

5 Figur 4 ein weiteres Diagramm, das die Abhängigkeit des Frequenzgangs der Permeabilität von der Breite eines in einem Magnetkern eingebrachten Schlitzes darstellt;

10 Figur 5 eine Darstellung der auf die Permeabilität bei Raumtemperatur bezogenen Permeabilitätsänderungen in Abhängigkeit von der Temperatur;

15 Figur 6 eine Darstellung des Frequenzgangs des Verlustwiderstands  $R_p$  im Parallelersatzschaltbild von Spulen, die Magnetkerne aus einer amorphen Legierung aufweisen;

Figur 7 eine Darstellung des Frequenzgangs der Einfügungsdämpfung der Spulen aus Figur 6;

20 Figur 8 eine Darstellung der Gleichfeldvorbelastbarkeit von Magnetkernen aus verschiedenen amorphen und nanokristallinen Legierungen;

Figur 9 eine Hystereseschleife mit nahezu idealer Linearität; und

Figuren 10-15 beispielhafte Wärmebehandlungen.

25 Da VDSL-Systeme noch nicht in allen Details festgelegt sind werden im folgenden insbesondere induktive Bauelemente des ADSL-Systems beschrieben. Nach heutigem Kenntnisstand ist davon auszugehen, daß die Anforderungen an die induktiven Bauelemente für VDSL-Systeme denen des ADSL-Systems weitgehend entsprechen.

Wie in Fig 1 dargestellt, erfolgt im ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)-Telekommunikationssystem die Verbindung zwischen einer ADSL-fähigen digitalen Ortsvermittlungsstelle 1 und einem teilnehmerseitiger Netzabschluß 2 (ADSL-Modem) über eine öffentliche Zweidrahtleitung 3. Zeitgleich mit den ADSL-Daten können über dieselbe Zweidrahtleitung 3 POTS(plain old telephone system)- oder ISDN(Integrated Services Digital Network)-Verbindungen laufen. Die Trennung und Übertragung der niederfrequenten (POTS, ISDN) und der hochfrequenten Komponenten (ADSL) wird durch Frequenzweichen 4 bewirkt, die an den Enden der öffentlichen Zweidrahtleitung 3 sitzen.

Die über die öffentliche Zweidrahtleitung 3 laufenden hochfrequenten ADSL-Signale werden von den Frequenzweichen 4 in einen ADSL-Zweig 5 gelenkt, während die niederfrequenten POTS- und ISDN-Signale von den Frequenzweichen 4 jeweils in POTS-/ISDN-Zweige 6 gelenkt werden. Die Frequenzweichen 4 umfassen demzufolge einen Hochpaßzweig 7 und einen Tiefpaßzweig 8. Bei dem in Figur 2 dargestellten Ausführungsbeispiel wird der Hochpaßzweig 7 von einem Hochpaßübertrager 9 und nachgeschalteten Hochpaßfilterkomponenten 10 gebildet. Der Hochpaßübertrager 9 weist drei auf einen gemeinsamen Magnetkern aufgewickelte Spulen 11 und einen zwischen die primärseitigen Spulen 11 geschalteten Kondensator 12 auf. Die nachgeschalteten Hochpaßfilterkomponenten 10 umfassen Kondensatoren 13 und eine Hochpaßfilterdrossel 14. Die Induktivitäten des Hochpaßübertragers 9 und die Hochpaßfilterdrossel 14 werden nachfolgend kurz als die induktiven Bauelemente des Hochpaßzweigs 7 bezeichnet.

Es sei angemerkt, daß neben dem in Figur 2 dargestellten Ausführungsbeispiel weitere Ausführungsformen des Hochpaßzweiges 7 denkbar sind.

5

So sind die hier vorgestellten induktiven Bauelemente auch in anderen Ausführungsformen des Hochpaßzweig 7, zum Beispiel bei einem elliptischen oder Invers-Tschebyscheff-Hochpaßzweig 7, einsetzbar.

5

Je nach dem Übertragungssystem unterscheidet man das DMT-System (discrete multitone) und das CAP-System (carrierless amplitude phase modulation). Die Codierungen haben Auswirkungen auf die spektrale Verteilung des Magnetisierungsstromes des Hochpaßzweigs 7 in der Frequenzweiche 4.

Man muß ferner ADSL-Systeme über POTS und ISDN unterscheiden, die verschiedene untere Grenzfrequenzen (POTS: ca. 30 kHz, ISDN: ca. 140 kHz) haben. Nachfolgend wird deshalb zwischen ADSL-POTS-Splittern und ADSL-ISDN-Splittern unterschieden. Aufgrund der niedrigeren Grenzfrequenzen und den höheren Spannungsamplituden bei POTS bekommt man eine stärkere Aussteuerung der induktiven Bauelemente des Hochpaßzweiges 7 bei POTS als bei ISDN. Die Magnetkerne der induktiven Bauelemente des Hochpaßzweiges 7 dürfen aber aufgrund der  $U_{ac}$ -Aussteuerung weder in Sättigung gehen noch dürfen sie so weit angesteuert werden, daß systemspezifische Eigenschaften, die in den einschlägigen Normen festgelegt sind, nicht mehr erfüllt werden.

25

An die auf beiden Seiten der öffentlichen Zweidrahtleitung 3 im Hochpaßzweig 7 eingesetzten induktiven Bauelemente werden deshalb die folgenden Anforderungen gestellt:

- a) minimales Bauvolumen
- 30 b) Eignung für die Übertragungscodesysteme
  - DMT
  - CAP
  - QAM / MQAM ((Multiple) Quadrature Amplitude Modulation)
- c) Hauptinduktivitäten < 2 mH je nach Filterauslegung, im  
35 allgemeinen < 0.5 mH, bevorzugt < 0,1 mH

6

d) Wechsellspannungsaussteuerung der Induktivitäten

- bei hohen Frequenzen durch ADSL-Signale (ab 20 kHz, bis 45Vpp)
- bei niedrigeren Frequenzen durch POTS- und ISDN-Signale mit typischen Pegeln gemäß 1TR110 und ETR80

e) Loops nach ANSI T1E1.413 und ETSI ETR 328

f) geringes Kerngewicht und SMD-Fähigkeit

g) Ringkernform, dadurch einfachere Sicherheitsanforderungen nach IEC 950

h) geringe Einfügedämpfung im ADSL-Durchlaßbereich (zur Zeit > 30kHz (POTS) oder > 140 kHz (ISDN) bis 1,1 MHz, eventuell bis 1,8 MHz), hohe Einfügedämpfung im ADSL-Sperrbereich (zur Zeit < 20 kHz (POTS) oder < 100 kHz (ISDN))

i) geringer und monotoner Temperaturgang der relevanten magnetischen Kenngrößen im Bereich -40°C - 100°C.

Bei der vorliegenden Erfindung handelt es sich um induktive Bauelemente für den Hochpaßzweig 7 in ADSL-POTS-Splittern und ADSL-ISDN-Splittern, die statt eines Ferritkerns einen kleinen Metallbandkern aus einer amorphen oder nanokristallinen Legierung enthalten. Dieser erhält seine normgerechten Eigenschaften durch eine optimierte Kombination aus Banddicke, Legierung und Wärmebehandlung im Magnetfeld sowie kerntechnologische Fertigungsschritte.

Eine erste grundlegende Anforderung ist, daß die Permeabilität der Kernmaterialien der induktiven Bauelemente im Hochpaßzweig 7 über den gesamten ADSL-Frequenzbereich weitestgehend konstant bleibt. Wie Fig. 3 und 4 zeigen, wurde diese Anforderung folgendermaßen erfüllt:



Magnetkerne, die aus niederpermeablen ( $\mu < 2500$ ) Legierungen hergestellt werden, sind vorzugsweise ungeschlitzt. Die erforderlichen Frequenzeigenschaften werden dabei über den spezifischen elektrischen Widerstand  $\rho$  der Legierung und die

5 Banddicke  $d_{\text{Band}}$  eingestellt. Wie aus Fig. 3 hervorgeht, sollte  $d_{\text{Band}} < 30\mu\text{m}$ , vorzugsweise  $< 20\mu\text{m}$ , möglichst  $< 17\mu\text{m}$  oder noch kleiner sein, damit die Permeabilität der Kernmaterialien im relevanten Frequenzbereich weitestgehend konstant bleibt. Gemäß Fig. 5, bleiben diese  $\mu(f)$ -Eigenschaften der hier ver-

10 wendeten, wärmebehandelten Werkstoffe über einen weiten Temperaturbereich stabil.

Wenn die Magnetkerne dagegen aus höherpermeablen Legierungen ( $\mu \geq 2500$ , vorzugsweise  $\mu \geq 10000$ ) hergestellt werden, so

15 läßt sich entsprechend Fig. 4 der Frequenzgang der Permeabilität  $\mu$  und damit der Induktivität  $L$  durch Einbringung eines Schlitzes in angepaßter Breite wesentlich verbessern. Die Schlitzbreite  $d_{\text{Schlitz}}$  hängt dabei wiederum von der Kombination Legierung/Wärmebehandlung ab. Typische Breiten liegen

20 im Bereich 1 bis 200  $\mu\text{m}$ .

Eine zweite grundlegende Anforderung ist, daß die Einfügungsdämpfung im Hochpaßzweig 7 über den gesamten ADSL-Frequenzbereich hinweg entsprechend ANSI T1E1.413 möglichst gering

25 ist. Für das Gesamtsystem, bestehend aus zwei ADSL-Modems, muß im 100-Ohm oder 135-Ohm-System ohne Berücksichtigung der Leitung  $a_E < 1$  dB gelten, wobei  $a_E$  die Einfügungsdämpfung ist. Dabei nimmt für einen vorgegebenen Wellenwiderstand die Einfügungsdämpfung mit zunehmendem Wert für  $R_p$  ab.  $R_p$  ist da-

30 bei der ohmsche Widerstand im Parallelersatzschaltbild für das induktive Bauelement, der die Ummagnetisierungsverluste im Magnetkern sowie die ohmschen Kupferverluste der Bewicklung repräsentiert. Dabei gilt der Zusammenhang

35 
$$R_p(f) = 2 \cdot \pi^2 \cdot N^2 \cdot (1/\rho_{\text{mech}}) \cdot (A_{\text{Fe}}/l_{\text{Fe}}) \cdot f^2 \cdot B^2 / P_{\text{Fe}}(f) \quad (1)$$

wobei  $N$  die Anzahl der Windungen,  $\rho_{\text{mech}}$  die spezifische Dichte des Magnetkerns,  $A_{\text{Fe}}$  die Querschnittsfläche des Magnetkerns  $l_{\text{Fe}}$  die Eisenweglänge,  $B$  die magnetische Induktion und  $P_{\text{Fe}}(f)$  den Frequenzgang der spezifischen Gesamtverluste bezeichnet, die ihrerseits wiederum von den Hysterese- und von den Band-eigenschaften abhängen.

Die Einfügungsdämpfung  $a_E$  hängt in der oben beschriebenen Weise vor allem im Bereich niedriger und mittlerer Frequenzen allein von dem Verlustwiderstand  $R_p$  ab. Die niedrigen Ummagnetisierungsverluste und die wegen der kleinen notwendigen Windungszahlen geringen Werte des Wicklungswiderstandes  $R_{\text{ou}}$  führen daher im unteren und mittleren Frequenzbereich zu einer niedrigen Einfügungsdämpfung  $a_E$ . Bei hohen Frequenzen kommt zusätzlich die Tatsache zum Tragen, dass metallische Ringbandkerne besonders niedrige Streuinduktivitäten ermöglichen, so dass sich Übertrager mit einem solchen Ringbandkern auch hier durch besonders geringe Einfügedämpfungswerte und hohe Reflexionsdämpfungswerte  $a_R$  auszeichnen. Auch die wegen den kleinen notwendigen Windungszahlen niedrigen realisierbaren Wicklungskapazitäten führen im Bereich hoher Frequenzen zu günstigen  $a_E$ -Werten und  $a_R$ -Werten. Im Ergebnis weisen metallische Ringbandkerne daher im gesamten Frequenzbereich diesbezüglich besonders günstige Eigenschaften auf.

Wie aus den Fig. 6 und 7 hervorgeht, lassen sich mit den hier verwendeten, wärmebehandelten Magnetlegierungen besonders große  $R_p$ -Werte schon bei sehr kleiner Eisenweglänge, d.h. kleiner Kerngeometrie, erreichen. Weiterhin wurde herausgefunden, daß eine Absenkung der Banddicke von  $30 \mu\text{m}$  auf  $20 \mu\text{m}$ , besser auf  $17 \mu\text{m}$  oder sogar noch darunter, zu einer weiteren Steigerung von  $R_p$  führt, ohne daß sich hierbei die Abmessungen des Kerns vergrößern.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß sich gerade durch die Kombination aus extrem linearer Hystereseschleife und dünnen Bändern der hier verwendeten, wärmebehandelten Legierungen mit hohem spezifischen elektrischen Widerstand  
5 ADSL-Hochpaßzweige 7 mit besonders kleinen Einfügungsdämpfungen herstellen lassen.

Noch weiter verbessern läßt sich der  $R_p$ -Wert durch eine Beschichtung von mindestens einer Bandoberfläche mit einem elektrisch isolierenden Medium, das eine kleine Dielektrizitätszahl von  $\epsilon_r < 10$  besitzen muß. Eine andere Möglichkeit zur Verschiebung des verlustbedingten Permeabilitätsabfalls, wird durch die definierte Einstellung der Permeabilität innerhalb bestimmter Grenzen auf möglichst niedrigem Niveau oder durch Einbringen eines angepaßten Schlitzes erzielt.  
10 Die normgerechten Eigenschaften von induktiven Bauelementen für den Hochpaßzweig 7 lassen sich am besten mit amorphen, nahezu magnetostriktionsfreien Kobalt-Basis-Legierungen sowie mit praktisch magnetostriktionsfreien feinkristallinen Legierungen erreichen. Letztere werden üblicherweise als "nanokristalline Legierungen" bezeichnet und sind durch ein extrem feines Korn mit einem mittleren Durchmesser von weniger als 100 nm gekennzeichnet, das mehr als 50 % des Materialvolumens einnimmt. Eine wichtige Voraussetzung ist, daß die Induktivitäten eine hohe Sättigungsinduktion von  $B_s > 0,6$  T, vorzugsweise  $> 0,9$  T, besser  $> 1$  T, und eine sehr lineare Hystereseschleife mit einem Sättigungs- zu Remanenzverhältnis  $B_r/B_s < 0,2$ , vorzugsweise  $< 0,08$ , besitzen. In diesem Zusammenhang zeichnen sich die magnetostriktionsfreien nanokristallinen Werkstoffe auf Fe-Basis durch eine besonders hohe  
20 Sättigungsinduktion von 1,1 T oder mehr aus. Eine Aufzählung sämtlicher betrachteter und erfindungsgemäß für geeignet befundener Legierungssysteme findet sich weiter unten.  
25  
30

Die dritte grundsätzliche Voraussetzung für das Erreichen der im Hochpaßzweig von ADSL-POTS- oder ADSL-ISDN-Splittern geforderten Eigenschaften ist ein ausgeprägtes Linearitätsverhalten der Hystereseschleifen, wie dies zum Beispiel in Fig. 8 und 9 dargestellt ist. Solche linearen Hystereseschleifen lassen sich beispielsweise durch die nachfolgend beschriebenen Fertigungsgänge erreichen:

Das mittels Rascherstarrungstechnologie hergestellte weichmagnetische amorphe Band der Dicke  $d < 30 \mu\text{m}$ , vorzugsweise  $< 20 \mu\text{m}$ , besser  $< 17 \mu\text{m}$ , aus einer der unten aufgezählten Legierungen wird auf speziellen Maschinen spannungsfrei zum Magnetkern in dessen Endabmessung gewickelt. Alternativ kommen hierbei aber auch Magnetkerne in Frage, die aus einem Stapel gestanzter Scheiben aus besagten Legierungen aufgebaut sind.

Wie bereits erwähnt, lassen sich die normgerechten Anforderungen an die Frequenzeigenschaften dann noch besser erfüllen, wenn das Band vor dem Wickeln des Magnetkerns, insbesondere vor dem Stanzen der Scheiben, auf einer Seite oder auf zwei Seiten elektrisch isolierend beschichtet wird. Hierfür wird, je nach Anforderungen an die Güte der Isolations-schicht, ein Tauch-, Durchlauf-, Sprüh- oder Elektrolyseverfahren am Band eingesetzt. Dasselbe kann aber auch durch Tauchisolation des gewickelten oder gestapelten Magnetkerns erreicht werden. Bei der Auswahl des isolierenden Mediums ist darauf zu achten, daß dieses einerseits auf der Bandoberfläche gut haftet, andererseits keine Oberflächenreaktionen verursacht, die zu einer Schädigung der Magneteigenschaften führen können. Bei den hier erfindungsgemäß eingesetzten Legierungen haben sich Oxide, Acrylate, Phosphate, Silikate und Chromate der Elemente Ca, Mg, Al, Ti, Zr, Hf, Si als wirkungsvolle und verträgliche Isolatoren herausgestellt. Besonders effektiv war dabei Mg, welches als flüssiges magnesium-

haltiges Vorprodukt auf die Bandoberfläche aufgebracht wird, und sich während einer speziellen, die Legierung nicht beeinflussenden Wärmebehandlung in eine dichte Schicht aus MgO umwandelt, deren Dicke zwischen 50 nm und 1  $\mu$ m liegen kann.

5

Bei der anschließenden Wärmebehandlung der isolierten oder unisolierten Magnetkerne zur Einstellung der weichmagnetischen Eigenschaften ist zu unterscheiden, ob der Magnetkern aus einer Legierung besteht, die sich zur Einstellung einer nanokristallinen Struktur eignet oder nicht.

10

Magnetkerne aus Legierungen, die sich zur Nanokristallisation eignen, werden zur Einstellung des nanokristallinen Gefüges einer exakt abgestimmten Kristallisationswärmebehandlung unterzogen, die je nach Legierungszusammensetzung zwischen 15 440 °C und 690 °C liegt. Typische Haltezeiten liegen zwischen 4 Minuten und 8 Stunden. Je nach Legierung ist diese Kristallisationswärmebehandlung im Vakuum oder im passiven oder reduzierenden Schutzgas durchzuführen. In allen Fällen sind 20 materialspezifische Reinheitsbedingungen zu berücksichtigen, die fallweise durch entsprechende Hilfsmittel wie elementspezifische Absorber- oder Gettermaterialien herbeizuführen sind. Dabei wird durch eine exakt abgegliche Temperatur- und Zeitkombination ausgenutzt, daß sich bei den hier verwendeten 25 Legierungszusammensetzungen gerade die Magnetostruktionsbeiträge von feinkristallinem Korn und amorpher Restphase ausgleichen und die erforderliche Magnetostruktionsfreiheit  $|\lambda_s| < 2$  ppm, vorzugsweise sogar  $|\lambda_s| < 0,2$  ppm, entsteht. Je nach Legierung und 30 Ausführungsform des Bauelements wird entweder feldfrei oder im Magnetfeld längs zur Richtung des gewickelten Bandes ("Längsfeld") oder quer dazu ("Querfeld") getempert. In bestimmten Fällen kann auch eine Kombination aus zwei oder sogar drei dieser Magnetfeldkonstellationen zeitlich 35 hintereinander oder parallel nötig werden. Besonders flache und lineare Schleifen wurden dann erreicht, wenn die

Magnetkerne stirnseitig exakt so aufgestapelt sind, daß die Stapelhöhe mindestens das 10-fache, vorzugsweise wenigstens das 20-fache des Kernaußendurchmessers betrug und wenn bereits während der beschriebenen Kristallisationswärmebehandlung ein starkes Querfeld anlag. Die Hystereseschleife wurde dabei in der Regel umso flacher, je höher die Querfeldtemperatur angesetzt wurde, wobei das Überschreiten der legierungsspezifischen Curietemperaturen sowie die Entstehung unmagnetischer Phasen wie zum Beispiel Fe-Boride eine obere Grenztemperatur festlegt.

Die magnetischen Eigenschaften, das heißt die Linearität und die Steigung der Hystereseschleife, können - falls nötig - weiträumig durch eine zusätzliche Wärmebehandlung in einem Magnetfeld, das parallel zur Rotationssymmetrieachse des Magnetkerns - also rechtwinklig zur Bandrichtung - steht, variiert werden. Je nach Legierung und einzustellendem Permeabilitätsniveau sind dabei Temperaturen zwischen 350 °C und 690 °C erforderlich. Aufgrund der Kinetik der atomaren Reorientierungsvorgänge sind normalerweise die resultierenden Permeabilitätswerte umso niedriger, je höher die Querfeldtemperatur ist. Typische Kennlinien verschiedener geeigneter nanokristalliner Magnetlegierungen, die deren Linearitätsverhalten zum Ausdruck bringen, sind der Fig. 8 zu entnehmen. Diese Magnetfeld-Wärmebehandlung wurde entweder direkt mit der Kristallisationswärmebehandlung kombiniert oder separat durchgeführt. Für die Glühatmosfera galten dieselben Bedingungen wie bei der Kristallisationswärmebehandlung zur Einstellung der nanokristallinen Struktur.

30

Als besonders gut hat es sich erwiesen, nanokristalline Legierungen, deren Permeabilitäten im Bereich zwischen  $\mu = 13.000$  und  $\mu = 20.000$  liegen, folgender Wärmebehandlung zu unterwerfen. Die Kerne werden zunächst von Raumtemperatur auf eine Temperatur, die ungefähr 450°C oder höher ist, mit einer

35

13

Aufheizrate von 1 bis 20 K/min. erwärmt und anschließend nach Erreichen der Zieltemperatur von 450°C oder etwas höher mit einer langsamen Aufheizrate von 0,1 bis 1 K/min. bzw. mit einer Aufheizrate von 1 bis 10 K/min. auf eine Zieltemperatur von 550°C bis 580°C aufgeheizt und bei dieser Temperatur für eine Zeitdauer von 0,5 bis 3 h belassen. Danach werden die Kerne mit einer Abkühlrate von 1 bis 10 K/min. auf Raumtemperatur abgekühlt. Die gesamte Wärmebehandlung erfolgt typischerweise in einem Quersfeld von einer Stärke von 800 bis 3500 A/cm. Dieses Beispiel einer Wärmebehandlung ist in der Figur 10 veranschaulicht. Sie wurde unter anderem erfolgreich an Magnetkernen aus einer nanokristallinen Legierung mit der chemischen Zusammensetzung  $\text{Fe}_{73,5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{15,5}\text{B}_7$  durchgeführt. Da die Magnetkerne hochpermeabel waren, das heißt eine Permeabilität von ungefähr 15.000 aufwiesen, wurden sie anschließend durch Schlitzen magnetisch gesichert.

Bei nanokristallinen Legierungen, die im Vergleich zu den oberen nanokristallinen Legierungen relativ niederpermeabel sind, das heißt also Permeabilitäten von weniger als 15.000 aufweisen, hat sich die folgende Wärmebehandlung als besonders geeignet erwiesen. Die Magnetkerne werden zunächst von der Raumtemperatur mit einer Aufheizrate zwischen 1 und 20 K/min. auf eine Temperatur von ungefähr 550°C erwärmt und anschließend mit einer Aufheizrate von 0,1 bis 3 K/min. auf eine Zieltemperatur von 580°C bis 650°C aufgeheizt. Die Magnetkerne werden bei dieser Zieltemperatur für eine Zeitdauer von 0,5 bis 3 h belassen. Anschließend werden die Magnetkerne mit einer Abkühlrate von 1 bis 10 K/min. auf die Raumtemperatur wieder abgekühlt. Die gesamte Wärmebehandlung wird vorzugsweise in einem Quersfeld von einer Stärke von 800 bis 3500 A/cm durchgeführt. Dieses Beispiel einer Wärmebehandlung ist in der Fig. 11 dargestellt. Die so erlangten Magnetkerne sind aufgrund ihrer relativ hohen Permeabilität anschließend durch Schlitzen magnetisch zu scheren. Diese Wärmebehandlung wurde

unter anderem erfolgreich an nanokristallinen Legierungen der chemischen Zusammensetzung  $(\text{Fe}_{0,98}\text{Co}_{0,02})_{90}\text{Zr}_7\text{B}_2\text{Cu}_1$ , an der Legierung  $\text{Fe}_{84}\text{Zr}_{3,5}\text{Nb}_{3,5}\text{B}_8\text{Cu}_1$  sowie an der Legierung  $\text{Fe}_{84}\text{Nb}_7\text{B}_9$  durchgeführt. Die erstgenannte Legierung wies dabei eine Permeabilität von ca. 8.000, die zweitgenannte Legierung wies eine Permeabilität von ca. 15.000 und die letztgenannte Legierung wies dabei eine Permeabilität von ca. 10.000 auf.

Bei Magnetkernen aus amorphen Werkstoffen erfolgt die Einstellung der magnetischen Eigenschaften, das heißt von Verlauf und Steigung der linearen flachen Hystereseschleife, durch eine Wärmebehandlung in einem Magnetfeld, das parallel zur Rotationssymmetrieachse - also rechtwinklig zur Bandrichtung des Magnetkerns - verläuft. Durch eine günstige Führung der Wärmebehandlung wird ausgenutzt, daß sich der Wert der Sättigungsmagnetostriktion während der Wärmebehandlung um einen von der Legierungszusammensetzung abhängigen Betrag in positive Richtung verändert, bis er in den Bereich  $|\lambda_s| < 2$  ppm, vorzugsweise sogar  $|\lambda_s| < 0,1$  ppm, trifft. Wie Tabelle 2 zeigt, wurde dies auch dann erreicht, wenn der Betrag von  $\lambda_s$  im „as quenched“-Zustand des Bandes deutlich über diesem Wert lag. Wichtig dabei ist je nach eingesetzter Legierung eine Bespülung des Kerns entweder mit Luft oder einem reduzierenden (z.B.  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ) oder passiven Schutzgas (z.B.  $\text{He}$ ,  $\text{Ne}$ ,  $\text{Ar}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ), so daß an den Bandoberflächen weder Oxidation noch andere Reaktionen auftreten können. Genausowenig dürfen im Innern des Materials festkörperphysikalische Reaktionen durch eindiffundierendes Schutzgas ablaufen.

Typischerweise werden die amorphen Magnetkerne für die induktiven Bauelemente des Hochpaßzweigs 7 des ADSL-POTS- oder ADSL-ISDN-Splitters je nach eingesetzter Legierungszusammensetzung unter angelegtem Magnetfeld mit einer Rate 0,1 bis 10 K/min auf Temperaturen zwischen 220 °C und 420 °C aufgeheizt, zwischen 0,25 und 48 Stunden im Magnetfeld in diesem Tempera-



15

turbereich gehalten und anschließend mit 0,1 - 5 K/min wieder auf Raumtemperatur abgekühlt. Aufgrund der Temperaturabhängigkeit der magnetischen Momente waren die erzielten Schleifen bei den Amorphlegierungen umso flacher und linearer, je niedriger die Querfeldtemperaturen waren. Die immer langsamere Kinetik bei der Reorientierung führte dabei auf eine legierungsspezifische Untergrenze, die im wesentlichen durch wirtschaftliche Gesichtspunkte, d.h. durch 48 stündige Glühungen, bestimmt war.

10

Aufgrund der entmagnetisierenden Felder im Inneren eines Kernstapels, die zu einer betragsmäßigen Schwächung und einer Divergenz der Feldlinien führen, waren besonders flache und lineare Schleifen nur dann erreichbar, wenn die Magnetkerne stirnseitig exakt so aufgestapelt waren, daß die Stapelhöhe mindestens das 10-fache, besser wenigstens das 20-fache des Kernaußendurchmessers betrug. Typische Kennlinien, die den linearen Charakter der hier realisierten Schleifen unterstreichen, sind der Fig. 8 zu entnehmen.

20

Fallweise kann auch auf ein Temperaturplateau im Querfeld verzichtet werden und die magnetische Vorzugsrichtung durch Abkühlen der Magnetkerne im Querfeld erzeugt werden. Das Permeabilitätsniveau wird dann über die Abkühlrate unterhalb der Curietemperatur des Magnetwerkstoffes eingestellt. Diese Art der Querfeldwärmebehandlung nach einer vorausgegangenen Entspannungsbearbeitung eignet sich besonders gut zur Einstellung sehr hoher Permeabilitäten. Bei derart behandelten Magnetkernen können die normgerechten Frequenzeigenschaften durch Scherung mittels Einbringen eines Schlitzes in angepaßter Breite erreicht werden.

30

Als besonders geeignet haben sich bei hochpermeablen amorphen Legierungen, wobei im Folgenden unter hochpermeabel Permeabilitätswerte gemeint sind, die deutlich größer als 1.500 sind,

35

die folgende Wärmebehandlung erwiesen. Zunächst wird die amorphe Legierung von Raumtemperatur mit einer Aufheizrate zwischen 60 und 1.200 K/h auf eine Temperatur zwischen 340°C und 400°C aufgeheizt. Die Magnetkerne werden dabei für eine  
5 Zeitdauer von 0,5 bis 4 h bei dieser Temperatur belassen. Anschließend werden die Kerne mit einer Abkühlrate zwischen 60 K/h und 240 K/h auf eine Temperatur zwischen 280°C und 340°C abgekühlt. Die Magnetkerne werden dann für eine Zeitdauer von 2 bis 6 h bei dieser Temperatur belassen. Nach Erreichen die-  
10 ser Zieltemperatur werden die Magnetkerne typischerweise einem Querfeld von einer Stärke von ungefähr 1.200 A/cm unterworfen. Unter Beibehaltung dieses Querfeldes werden die Magnetkerne anschließend mit einer Abkühlrate von 60 bis 300 K/h auf Raumtemperatur abgekühlt. Das erste Temperaturplateau,  
15 das heißt das Temperaturplateau im Bereich von 340°C und 400°C dient dem Abbau mechanischer Spannungen. Das zweite Temperaturplateau, das heißt also das Temperaturplateau im Bereich von 280°C und 340°C dient der Einstellung der uniaxialen Anisotropie  $K_u$ . Da die Magnetkerne im Vergleich zu Magnetkernen aus magnetostruktionsarmen nanokristallinen Legierungen "niederpermeabel" sind, können diese anschließend ungeschlitzt bleiben. Eine solche Wärmebehandlung wurde beispielsweise an der amorphen Kobalt-Basislegierung  
20  $\text{Co}_{71,7}\text{Fe}_{1,1}\text{Mo}_1\text{Mn}_4\text{Si}_{13,2}\text{B}_9$  erfolgreich angewendet. Das eben beschriebene Beispiel einer Wärmebehandlung ist in der Fig. 12 dargestellt.

Bei Magnetkernen aus amorphen Legierungen, die im Vergleich zu der eben genannten Legierungsklasse relativ niederpermeabel sind, das heißt also Permeabilitäten aufweisen, die im  
30 Bereich von 1.500 oder darunter liegen, hat sich die folgende Wärmebehandlung als besonders geeignet erwiesen. Dabei werden die Magnetkerne mit einer Aufheizrate zwischen 60 K/h und 1.200 K/h auf eine Zieltemperatur zwischen ungefähr 280°C und  
35 ungefähr 360°C aufgeheizt. Die Magnetkerne werden dann für

eine Zeitdauer von 1 bis 6 h auf dieser Zieltemperatur gehalten und anschließend mit einer Abkühlrate zwischen 60 K/h und 300 K/h wieder auf Raumtemperatur abgekühlt. Es wird angemerkt, dass typischerweise die gesamte eben beschriebene Wärmebehandlung in einem Querfeld von einer Stärke von ungefähr 1.500 A/cm durchgeführt wird. Dieses Beispiel einer Wärmebehandlung ist in der Figur 13 veranschaulicht. Die eben diskutierte Wärmebehandlung wurde unter anderem erfolgreich an den amorphen Kobalt-Basislegierungen mit den chemischen Zusammensetzungen  $\text{Co}_{72,5}\text{Fe}_{1,5}\text{Mo}_{0,2}\text{Mn}_4\text{Si}_{4,8}\text{B}_{17}$ , an der Legierung mit der chemischen Zusammensetzung  $\text{Co}_{72,8}\text{Fe}_{4,7}\text{Si}_{5,5}\text{B}_{17}$  sowie an der Legierung mit der chemischen Zusammensetzung  $\text{Co}_{55,6}\text{Fe}_{6,1}\text{Mn}_{1,1}\text{Si}_{4,3}\text{B}_{16,2}\text{Ni}_{16,5}$  durchgeführt. Die Magnetkerne aus der erstgenannten amorphen Legierung wiesen dabei eine Permeabilität von ungefähr 1.500, die Magnetkerne aus der zweitgenannten Legierung wiesen dabei eine Permeabilität von ungefähr 1.200 und die Magnetkerne schließlich aus der letztgenannten Legierung wiesen dabei eine Permeabilität von ungefähr 700 auf. Da die Magnetkerne relativ "niederpermeabel" waren, konnten sie ungeschlitzt bleiben.

Bei extrem hochpermeablen amorphen Kobalt-Basislegierungen, das heißt bei Legierungen, deren Permeabilitäten deutlich über 20.000 liegen, hat sich die folgende Wärmebehandlung als besonders vorteilhaft erwiesen. Zunächst wird ab Raumtemperatur mit einer Aufheizrate zwischen 1 und 20 K/min. auf eine Zieltemperatur zwischen ungefähr 400°C und ungefähr 460°C aufgeheizt. Die Magnetkerne werden dabei für eine Zeitdauer zwischen ungefähr 0,5 h und ungefähr 3 h belassen. Danach wird mit einer Abkühlrate von ungefähr 120 K/h und ungefähr 240 K/h auf eine Temperatur, die ungefähr der Curietemperatur  $T_c$  entspricht, abgekühlt. Nach Erreichen der ungefähren Curietemperatur  $T_c$ , die je nach Feinzusammensetzung typischerweise bei 200°C bis 250°C liegt, wird ein Querfeld von einer Stärke von ungefähr 2.000 A/cm eingeschaltet und unter der

Wirkung dieses Querfeldes werden die Magnetkerne dann mit einer Abkühlrate zwischen 0,2 K/min. und ungefähr 2 K/min. auf Raumtemperatur wieder abgekühlt. Dieses Beispiel für eine Wärmebehandlung ist in der Figur 14 dargestellt und hat sich insbesondere bei Legierungen mit einer Zusammensetzung  $\text{Co}_{68}\text{Fe}_{3,5}\text{Mo}_{1,5}\text{Si}_{16,5}\text{B}_{10,5}$  sowie  $\text{Co}_{68,4}\text{Fe}_{3,4}\text{Mn}_{1,0}\text{Mo}_{0,5}\text{Si}_{16,5}\text{B}_{10,2}$  als sehr wirksam erwiesen. Magnetkerne aus der erstgenannten Legierung wiesen dabei eine Permeabilität von ungefähr 160.000 auf, Magnetkerne aus der zweitgenannten Legierung wiesen dabei eine Permeabilität von ungefähr 52.000 auf.

Ebenso hat es sich als vorteilhaft erwiesen, bei extrem hochpermeablen nanokristallinen Legierungen, das heißt also bei nanokristallinen Legierungen, die Permeabilitäten von deutlich mehr als 20.000 aufwiesen die folgende spezielle Wärmebehandlung durchzuführen. Magnetkerne aus solchen nanokristallinen Legierungen werden zum Beispiel zunächst mit einer Aufheizrate zwischen ungefähr 1 und ungefähr 20 K/min. auf eine Zieltemperatur von ungefähr 450°C aufgeheizt, anschließend mit einer Aufheizrate zwischen ungefähr 0,1 und ungefähr 1 K/min. auf eine Temperatur von ungefähr 500°C weiter aufgeheizt und danach schließlich auf eine Zieltemperatur zwischen ca. 550°C und ca 580°C weiter aufgeheizt. Die Magnetkerne werden dann für eine Zeitdauer zwischen ungefähr 0,5 h und ungefähr 3 h bei dieser Zieltemperatur belassen. Anschließend werden die Magnetkerne mit einer Abkühlrate zwischen ca. 1 und ca. 10 K/min. auf eine Temperatur von ungefähr 360°C abgekühlt. Bei Erreichen dieser zweiten Zieltemperatur wird ein Querfeld mit einer Stärke von ungefähr 2.000 A/cm eingeschaltet und die Kerne bei dieser zweiten Temperatur für eine Zeitdauer zwischen ungefähr 2 h und ungefähr 6 h belassen. Anschließend wird unter Beibehaltung des Querfeldes mit einer Abkühlrate zwischen ca. 1 und ca. 10 K/min. auf Raumtemperatur wieder abgekühlt. Selbstverständlich sind wegen der außerordentlich hohen Permeabilität solche Magnetkerne wiederum

über Schlitzten magnetisch zu scheren. Dieses Beispiel einer Wärmebehandlung ist in der Figur 15 dargestellt.

Zum Einbringen eines Schlitzes in den Magnetkern zur Einstellung von Höhe und Frequenzgang der effektiven Permeabilität  $\mu_{eff}$  wurden verschiedene Verfahren erfolgreich untersucht. Zum Einbringen des Schlitzes erwiesen sich Funkenerosion, vorsichtiges Sägen z.B. mit Diamantsäge, Wasserstrahlschneiden oder Schneiden mittels einer feinen Trennscheibe als besonders günstig. Hierbei wurde beobachtet, daß die Qualität des Schnitts ganz entscheidend in den Frequenzgang der Permeabilität und damit der Einfügungsdämpfung eingeht. Mittels einer vor dem Schneiden durchgeführten Tränkung der Schnittzone mit einem dünnflüssigen Kunstharz, das aufgrund der Kapillarkwirkung zwischen die Bandlagen des Kerns einzieht, wurden besonders hohe Schnittqualitäten erzielt. In diesen Fällen waren die in der Spaltzone auftretenden lokalen Verlustüberhöhungen vergleichsweise klein und demzufolge der Frequenzgang der Permeabilität wesentlich besser konstant als bei rauen Schnittflächen.

Im Anschluß an die Wärmebehandlung und das Einbringen des Schlitzes werden die Magnetkerne oberflächlich passiviert, beschichtet, wirbelgesintert oder in einem Trog verkapselt, mit den Primär- bzw. Sekundärwicklungen versehen und gegebenenfalls im Bauelementgehäuse verklebt oder vergossen. Hierbei besteht auch die Möglichkeit, einen Aufbau in sogenannter Planartechnologie zu verwenden. Dieses Verfahren ist unabhängig davon, ob der Magnetkern aus amorphem oder nanokristallinem Material besteht. Aufgrund der Sprödigkeit hat allerdings die mechanische Handhabung der ausgetemperten nanokristallinen Magnetkerne mit besonderer Vorsicht zu erfolgen.

Eine weitere Fertigungsmöglichkeit ist, daß das Band zunächst einer Querfeldtemperung im Durchlauf unterzogen und anschließend zum Bandkern gewickelt wird. Der weitere Ablauf verläuft wie oben beschrieben.

5

Die mit diesen Verfahren hergestellten Magnetkerne erfüllen dann folgende Voraussetzungen:

- Die Hauptinduktivität des bewickelten Ringbandkerns liegt je nach Auslegung der Filterdrossel im Bereich von 0.1 bis 2 mH, bei besonderen Ausführungsformen der Filter (z.B. elliptische Charakterisitik) ist die Hauptinduktivität auch < 100 µH.
- Die Hauptinduktivität erfüllt diesen Wert auch unter maximaler Wechselaussteuerung bei den normmäßig festgelegten Frequenzen.
- Der Linearitätsfehler der Hystereseschleife des Kerns ist so gering, daß gilt:  
 $0,8 \leq \mu(B) / \mu(B=0) \leq 1,2$ , vorzugsweise  
 $0,9 \leq \mu(B) / \mu(B=0) \leq 1,1$   
für  $B = 0 - 0,8 \cdot B_s$
- Die in typischen Anwenderschaltungen erzielbaren Bitfehler-raten sind konform mit den Normen (ANSI T1E1.413 und ETSI ETR 328).
- Unter Verwendung amorpher und nanokristalliner Magnetwerkstoffe ergeben sich nach abgeglicherer Querfeldtemperung für vorgegebene Werte der Hauptinduktivität z. B. die in Tab. 1 dargestellten typischen minimalen Kernabmessungen, wobei die Abmessungen in der Reihenfolge Außendurchmesser, Innendurchmesser und Höhe angegeben sind.

30

$L_{\text{haupt}}$ [μH]	Kernabmessung [mm <sup>3</sup> ]	Kernmasse [g]	Werkstoff
560	9.8*6.5*4.4	1.2	Co <sub>72.8</sub> Fe <sub>4.7</sub> Si <sub>5.5</sub> B <sub>17</sub>
820	9.3*5.5*2.5	0.78	Co <sub>72.8</sub> Fe <sub>4.7</sub> Si <sub>5.5</sub> B <sub>17</sub>
410	9.8*6.5*4.4	1.2	Co <sub>55.6</sub> Fe <sub>6.1</sub> Mn <sub>1.1</sub> Si <sub>4.3</sub> B <sub>16.2</sub> Ni <sub>16.5</sub>
700	6.0*4.0*2.0	0.18	Fe <sub>88.2</sub> Co <sub>1.8</sub> Zr <sub>7</sub> B <sub>2</sub> Cu <sub>1</sub>
950	8.0*4.0*4.0	0.87	Fe <sub>73.5</sub> Cu <sub>1</sub> Nb <sub>3</sub> Si <sub>15.5</sub> B <sub>7</sub>

Tab. 1

- 5 Ähnliche Kernabmessungen ergeben sich auch beim Einsatz der anderen unten aufgezählten Legierungen, die anwendungsspezifisch eingesetzt werden.

Bei der Dimensionierung der induktiven Bauelemente sind eine  
10 Reihe von Zusammenhängen zu beachten.

Für die induktiven Bauelemente gilt der Zusammenhang

$$L = N^2 \mu_0 \mu_r A_{fe} / l_{fe} \quad (2)$$

15

$L$  = Induktivität des Bauelements

$N$  = Windungszahl

$\mu_0$  = universelle Permeabilitätskonstante

$\mu_r$  = Permeabilität des Materials

20

$A_{fe}$  = Eisenquerschnitt des Magnetkerns

$l_{fe}$  = Eisenweglänge des Magnetkerns.

Aus Gleichung (2) wird ersichtlich, daß die erforderliche Induktivität bei minimalem Bauvolumen nur dann erreichbar ist,  
25 wenn Windungszahlen, Permeabilität, Kernquerschnitt und Eisenweglänge aufeinander abgestimmt sind. Die im gesamten Bereich der Arbeitsfrequenz gültige Permeabilität  $\mu$  oder bei

geschlitzten Ausführungsformen die effektive Permeabilität  $\mu_{eff}$  des Kernmaterials ist neben der günstigen ringförmigen Geometrie der ausschlaggebende Parameter für eine möglichst kompakte Abmessung des Übertragers. Je nachdem welche der  
5 nachfolgend aufgezählten Legierungen zum Einsatz kommt und wie die zugehörige Wärmebehandlung geführt wird, läßt sich in definierter Weise ein Permeabilitätsbereich zwischen 500 und mehr als 100000 abdecken. Durch Einbringen eines Schlitzes in den Magnetkern läßt sich die Untergrenze der Permeabilität  
10 bis auf 100 oder sogar noch darunter verschieben (siehe Fig. 4). Für die induktiven Bauelemente des Hochpaßzweiges 7 kommt vorzugsweise der Permeabilitätsbereich  $\mu$  oder  $\mu_{eff} < 30000$ , insbesondere  $< 2500$ , zum Einsatz, was hinsichtlich der Dimensionierung der induktiven Bauelemente ein hohes Maß an Flexi-  
15 bilität mit sich bringt. Die mit diesen Magnetkernen realisierten induktiven Bauelemente für den Hochpaßzweig 7 besitzen aufgrund ihrer Bauform und der hohen Sättigungsinduktion der Magnetkerne gegenüber den geschlitzten Ferritkernen einen starken Volumenvorteil.

20 Bei der Auswahl des Kernwerkstoffes für die induktiven Bauelemente des Hochpaßzweiges 7 entsteht eine grundsätzliche Einschränkung dadurch, daß der Magnetkern durch die hohen Spannungsamplituden  $U_{ac}(ADSL)$  nicht bis in Sättigungsnähe  
25 aufmagnetisiert werden darf.

Die der Signalaussteuerung entsprechende Induktion ist durch

$$B_{ac} = (1 / N A_{fe}) * \int U_{ac} dt \quad (3)$$

30 gegeben. Die Permeabilität und der Klirrfaktor dürfen bei dieser Signalaussteuerung nur sehr geringfügig abfallen. Aus diesem Grunde erfolgt die Beurteilung des Materials anhand von  $\mu(B_{ac})$ - und Klirrfaktor-Kennlinien.



Da der Klirrfaktor mit zunehmender Amplitude der magnetischen Induktion B ansteigt, muß die Legierungszusammensetzung in Kombination mit der Querfeldwärmebehandlung so festgelegt sein, daß einerseits die Sättigungsinduktion möglichst hoch, 5 andererseits die Permeabilität unter einer von den Einsatzbedingungen abhängigen oberen Grenze liegt.

Eine niedrigere Permeabilität  $\mu$  oder  $\mu_{\text{eff}}$  hat eine Vergrößerung der Windungszahl N und damit bei vorgegebener Spannungsamplitude gemäß Gleichung (3) eine niedrigere Amplitude der 10 magnetischen Induktion B zur Folge, was zu einem besseren Klirrfaktor führt.

Nachfolgend werden nun geeignete Legierungssysteme näher beschrieben. Es wurde herausgefunden, daß sich mit den nachfolgend beschriebenen Legierungssystemen unter Einhaltung der 15 oben genannten Bedingungen induktive Bauelemente für Hochpaßzweige mit besonders linearen Hystereseschleifen und kleinen Bauformen herstellen lassen, die alle normgerechten Eigenschaften besitzen. 20

Bei den unten angeführten Legierungssystemen schließen die Kleiner-/Größerzeichen die Grenzen mit ein, alle at%-Angaben sind als ungefähr zu betrachten.

## Legierungssystem 1:

Ein erstes für den Hochpaßzweig 7 geeignetes Legierungssystem hat die Zusammensetzung  $\text{Co}_a(\text{Fe}_{1-c}\text{Mn}_c)_b\text{Ni}_d\text{M}_e\text{Si}_x\text{B}_y\text{C}_z$ , wobei M ein  
 5 oder mehrere Elemente aus der Gruppe Nb, Mo, Ta, Cr, W, Ge und P bezeichnet und  $a+b+d+e+x+y+z = 100$  ist, mit

Co:  $a = 40 - 82 \text{ at\%}$ , vorzugsweise  $a > 50\text{at\%}$ ,  
 Fe+Mn:  $b = 3 - 10 \text{ at\%}$ ,  
 10 Mn/Fe:  $c = 0 - 1$ , vorzugsweise  $c < 0.5$ ,  
 Ni:  $d = 0 - 30 \text{ at\%}$ , vorzugsweise  $d < 20 \text{ at\%}$ ,  
 M:  $e = 0 - 5 \text{ at\%}$ , vorzugsweise  $e < 3 \text{ at\%}$ ,  
 Si:  $x = 0 - 17 \text{ at\%}$ , vorzugsweise  $x > 1 \text{ at\%}$ ,  
 B:  $y = 8 - 26 \text{ at\%}$ , vorzugsweise  $8 - 20 \text{ at\%}$ ,  
 15 C:  $z = 0 - 3 \text{ at\%}$ ,  
 $15 < e+x+y+z < 30$ , vorzugsweise  $18 < e+x+y+z < 25$ .

Legierungen dieses Systems bleiben nach der Wärmebehandlung amorph. Abhängig von der Zusammensetzung und Wärmebehandlung  
 20 konnten damit extrem lineare Hystereseschleifen mit einem sehr weiten Permeabilitätsbereich zwischen 500 und 100000 und mehr realisiert werden. Zur Einstellung der normgerechten Induktivitäten wurden die Magnetkerne fallweise durch Einbringen eines Schlitzes in angepaßter Breite magnetisch gesichert.

25 Dabei hat sich als besonders wichtig herausgestellt, daß sich der Wert der Sättigungsmagnetostriktion mit einer auf die Legierungszusammensetzung abgestimmten Wärmebehandlung sicher auf besonders kleine Werte von  $|\lambda_s| < 0,1 \text{ ppm}$  einstellen  
 30 läßt. Dadurch ergibt sich eine besonders lineare Schleifenform, die zu einer besonders hohen Konstanz der Permeabilität über einen weiten Induktionsbereich führt. Außerdem wird hierdurch das Auftreten schädlicher magnetoelastischer Resonanzen des Ringbandkerns vermieden. Diese würden bei bestimm-  
 35 ten Frequenzen des Induktionsverlaufes zu Einbrüchen in der

25

Permeabilität oder zu erhöhten Ummagnetisierungsverlusten führen. Bei den Untersuchungen wurde herausgefunden, daß gerade die Kombination aus dieser annähernden Magnetostriktionsfreiheit, einer möglichst geringen Banddicke (am besten  
5 kleiner 17  $\mu\text{m}$ ) und einem vergleichsweise hohen spezifischen elektrischen Widerstand von 1,1 bis 1,5  $\mu\Omega\text{m}$  zu einem extrem guten Frequenzverhalten führt, das für das ADSL-Hochpaßfilter 10 und den ADSL-Hochpaß-Übertrager 9 besonders gut geeignet ist.

10

Legierungssystem 2:

Ein zweites Legierungssystem weist die Zusammensetzung  $\text{Fe}_a\text{Co}_b\text{Cu}_c\text{Si}_d\text{B}_e\text{M}_f$  auf, wobei M ein Element aus der Gruppe Nb, W, 15 Ta, V, Zr, Hf, Ti, Mo oder eine Kombination aus diesen bezeichnet und  $a + b + c + d + e + f = 100 \%$  ist, mit

Fe:	$a = 100 \% - b - c - d - e - f,$	
Co:	$b = 0-15 \text{ at\%}$	vorzugsweise 0-0,5 at%
20 Cu:	$c = 0,5 - 2 \text{ at\%},$	vorzugsweise 0,8 - 1,2 at%,
M:	$f = 1 - 5 \text{ at\%},$	vorzugsweise 2 - 3 at%,
Si:	$d = 6,5 - 18 \text{ at\%},$	vorzugsweise 14 - 17 at%,
B:	$e = 5 - 14 \text{ at\%}.$	

25 wobei  $d + e > 18 \text{ at\%}$ , vorzugsweise  $d + e = 22 - 24 \text{ at\%}$  ist.

Legierungen dieses Systems haben sich wegen ihrer linearen Schleifenform und ihres sehr guten Frequenzverhaltens für den ADSL-Hochpaßzweig 7 als sehr gut geeignet herausgestellt. Besonders gute ADSL-Hochpaßeigenschaften werden bei den als  
30 "vorzugsweise" hervorgehobenen Legierungszusammensetzungen erreicht, da hier, ebenso wie im Legierungssystem 1 ein Null-durchgang der Sättigungsmagnetostruktion eingestellt werden kann. Dabei wurde auch hier herausgefunden, daß gerade die Kombination aus einem hohen spezifischen elektrischen Wider-  
35 stand von 1,1 bis 1,2  $\mu\Omega\text{m}$  und einer kleinen Banddicke zu ei-

nem ausgezeichneten Frequenzverhalten und damit hervorragenden Eigenschaften des ADSL-Hochpaßübertragers 9 und der Hochpaßfilterdrossel 14 führt.

- 5 Daneben hat sich auch die mit  $B_s = 1,1 - 1,3$  T gemessene, vergleichsweise hohe Sättigungsinduktion bei extrem linearen Schleifen als sehr vorteilhaft erwiesen, da hierdurch hohe Induktionswerte von 1 T oder sogar mehr ausgesteuert werden können. Zusätzlich wurde gefunden, daß die Temperaturcharakteristik der Magnetkerne mittels der Wärmebehandlung zur Einstellung der Permeabilität gezielt angepaßt werden kann. Daraus können gerade bei rauen Umweltbedingungen, wie sie in Telekommunikationseinrichtungen durchaus auftreten können, nicht anders realisierbare anwendungsspezifische Vorteile erwachsen. Bei Ringbandkernen mit höheren Permeabilitätswerten wurde zur Einstellung der normgerechten Eigenschaften auf eine Scherung mittels eines Schlitzes zurückgegriffen.

Legierungssystem 3:

20

Ein drittes für Hochpaßfilter geeignetes Legierungssystem hat die Zusammensetzung  $Fe_xZr_yNb_zB_vCu_w$ , wobei  $x + y + z + v + w = 100$  at% ist, mit

- 25 Fe:  $x = 100 \text{ at\%} - y - z - v - w$ , vorzugsweise 83 - 86 at%,  
 Zr:  $y = 2 - 5 \text{ at\%}$ , vorzugsweise 3 - 4 at%,  
 Nb:  $z = 2 - 5 \text{ at\%}$ , vorzugsweise 3 - 4 at%,  
 B:  $v = 5 - 9 \text{ at\%}$ ,  
 30 Cu:  $w = 0,5 - 1,5 \text{ at\%}$ , vorzugsweise 1 at%,  
 wobei  $y + z > 5 \text{ at\%}$ , vorzugsweise 6 - 7 at%,  
 und  $y + z + v > 11 \text{ at\%}$ , vorzugsweise 12 - 16 at% ist.

- Mit Legierungen dieses Systems konnten mit Querfeldwärmebehandlungen die legierungsspezifisch im Intervall zwischen
- 35

27

550 °C und 650 °C durchgeführt wurden, ebenfalls lineare Schleifenformen und ein gutes, für den ADSL-Hochpaßfilter 10 geeignetes Frequenzverhalten erzielt werden. Besonders günstig wirkt sich hier auf die Größe des Bauelements die hohe Sättigungsinduktion von ca. 1,5 bis 1,6 T aus.

#### Legierungssystem 4:

Ein weiteres geeignetes Legierungssystem hat die Zusammensetzung  $\text{Fe}_x\text{M}_y\text{B}_z\text{Cu}_w$ , wobei M ein Element aus der Gruppe Zr, Hf, Nb bezeichnet und  $x + y + z + w = 100$  at% ist, mit

Fe:  $x = 100$  at% -  $y - z - w$ ,  
vorzugsweise 83 - 91 at%,  
M:  $y = 6 - 8$  at%, vorzugsweise 7 at%,  
15 B:  $z = 3 - 9$  at%,  
Cu:  $w = 0 - 1,5$  at%.

Mit Legierungen dieses Systems konnten die Grundvoraussetzung  $|\lambda_s| < 1$  ppm erfüllt werden. Die mit den durchgeführten Quersfeldbehandlungen zwischen 550 °C und 650 °C legierungsspezifisch erreichten Permeabilitäten lagen vergleichsweise niedrig zwischen 2000 und 15000. Die für den ADSL-Hochpaßfilter 10 notwendigen Linearitätsanforderungen wurden dabei vor allem im oberen Bereich der Quersfeldtemperaturen befriedigt.  
25 Aufgrund der hohen Sättigungsinduktion von 1,4 bis 1,5 T konnten sehr kleine Bauformen realisiert werden.

#### Legierungssystem 5:

30 Ein fünftes Legierungssystem weist schließlich die Zusammensetzung  $(\text{Fe}_{0,98}\text{Co}_{0,02})_{90-x}\text{Zr}_7\text{B}_{2+x}\text{Cu}_1$  auf mit  $x = 0 - 3$ , vorzugsweise  $x = 0$  auf, wobei bei entsprechendem Abgleich der restlichen Legierungsbestandteile Co durch Ni ersetzbar ist.

Bei diesem System wurde bei legierungsspezifisch abgestimmter Querfeldwärmebehandlung ein Nulldurchgang in der Sättigungsmagnetostriktion erreicht, der zu besonders linearen Hystereseverläufen führte. Dadurch wurden die Frequenzgänge der komplexen Permeabilität so stark verbessert, daß sie denen der Legierungssystemen 1 und 2 sehr nahe kommen. Als herausragender Vorteil erwies sich bei diesem System die hohe Sättigungsinduktion, die mit Werten von  $B_s = 1,65$  bis  $1,75$  T gemessen wurde. Durch die besonders günstige Kombination aus annähernder Magnetostriktionsfreiheit und hoher Sättigungsinduktion konnten hier verzerrungsarm nutzbare Induktionsamplituden bis zu  $1,5$  Tesla und mehr realisiert werden, wodurch besonders kleine Bauformen, die sowohl für die ADSL-Hochpaßfilterdrosseln 14 als auch für die ADSL-Hochpaß-Übertrager 9 genutzt werden sollen, möglich werden.

Die Legierungssysteme 2 bis 5 erhalten nach der Wärmebehandlung eine feinkristalline Struktur mit Korndurchmessern unter  $100$  nm. Diese Körner sind von einer amorphen Phase umgeben, die allerdings weniger als  $50\%$  des Materialvolumens einnimmt.

Sämtliche Legierungssysteme 1 bis 5 zeichnen sich durch die folgenden Eigenschaften aus:

- extrem lineare Hystereseschleife;
- Betrag der Sättigungsmagnetostriktion  $|\lambda_s| < 2$  ppm, vorzugsweise  $< 0,1$  ppm nach der Wärmebehandlung. Bei den Kobalt-Basis-Amorphwerkstoffen kann die Sättigungsmagnetostriktion dadurch eingestellt werden, daß der Fe und Mn-Gehalt entsprechend feinangepaßt wird. Bei den nanokristallinen Legierungen kann der Sättigungsmagnetostriktion über die Größe des feinkristallinen Korns eingestellt werden, was durch eine gezielte Abstimmung der Wärmebehand-

lung, des Metalloidgehaltes und des Gehaltes an Refraktärmetallen bewerkstelligt werden kann.

- Sättigungsinduktion von 0,6 T bis 1,7 T, wobei die Sättigungsinduktion durch Wahl des Gehaltes an Ni, Co, M, Si, B und C feinabgestimmt werden kann.
- Bänder, deren Dicken weniger als 17  $\mu\text{m}$  betragen können;
- Hoher spezifischer elektrischer Widerstand, der bis zu 1,5  $\mu\Omega\text{m}$  betragen kann.

- 10 Die oben genannten Anforderungen und Legierungsbereiche werden nach Durchführung der beschriebenen Wärmebehandlung z.B. durch die in Tabelle 2 aufgeführten Legierungsbeispiele eingehalten bzw. erfüllt.

Legierungs- zusammensetzung  [at %]	Struktur	Sättig.- induktion [T]	Anisotro- pie- feldstärke $H_a$ [A/cm]	Sättigungsmagneto- striktion $\lambda_s$	
				as quen- ched	wärme- behandelt
$\text{Co}_{71.7}\text{Fe}_{1.1}\text{Mo}_1\text{Mn}_4\text{Si}_{13.2}\text{B}_9$	amorph	0,82	1,5	$-12 \cdot 10^{-8}$	$-3,5 \cdot 10^{-8}$
$\text{Co}_{72.5}\text{Fe}_{1.5}\text{Mo}_{0.2}\text{Mn}_4\text{Si}_{4.8}\text{B}_{17}$	amorph	1,0	3,5	$-12 \cdot 10^{-8}$	$-4,1 \cdot 10^{-8}$
$\text{Co}_{72.8}\text{Fe}_{4.7}\text{Si}_{5.5}\text{B}_{17}$	amorph	0,99	4,8	$-32 \cdot 10^{-8}$	$-1,6 \cdot 10^{-8}$
$\text{Co}_{55.6}\text{Fe}_{6.1}\text{Mn}_{1.1}\text{Si}_{4.3}\text{B}_{16.2}\text{Ni}_{16.5}$	amorph	0,93	8,0	$-110 \cdot 10^{-8}$	$+4,2 \cdot 10^{-8}$
$\text{Fe}_{73.5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{15.5}\text{B}_7$	nanokr.	1,21	0,7	$+24 \cdot 10^{-6}$	$+1,6 \cdot 10^{-7}$
$(\text{Fe}_{0.98}\text{Co}_{0.02})_{90}\text{Zr}_7\text{B}_2\text{Cu}_1$	nanokr.	1,70	1,7	-	$-1,0 \cdot 10^{-7}$
$\text{Fe}_{84}\text{Zr}_{3.5}\text{Nb}_{3.5}\text{B}_8\text{Cu}_1$	nanokr.	1,53	0,8	$+3 \cdot 10^{-6}$	$+1,5 \cdot 10^{-7}$
$\text{Fe}_{84}\text{Nb}_7\text{B}_9$	nanokr.	1,5	1,1	-	$+1,0 \cdot 10^{-7}$

Die in Tabelle 2 aufgeführten amorphen, fein- oder nanokristallinen Legierungen zeichnen sich durch besonders hohe Werte der Sättigungsinduktion von bis zu 1,7 Tesla aus. Diese lassen vergleichsweise hohe Permeabilitätswerte zu, wodurch gegenüber Ferritübertragern weitere Vorteile hinsichtlich Baugröße und Bewicklung entstehen.



## Bezugszeichenliste

- |    |                              |
|----|------------------------------|
| 1  | Ortsvermittlungsstelle       |
| 2  | Netzabschluß                 |
| 3  | Öffentliche Zweidrahtleitung |
| 4  | Filterweichen                |
| 5  | ADSL-Zweig                   |
| 6  | ISDN-/POTS-Zweig             |
| 7  | Hochpaßzweig                 |
| 8  | Tiefpaßzweig                 |
| 9  | Hochpaßübertrager            |
| 10 | Hochpaßfilterkomponenten     |
| 11 | Spulen                       |
| 12 | Kondensator                  |
| 13 | Kondensator                  |
| 14 | Hochpaßfilterdrossel         |

## Patentansprüche:

1. Frequenzweiche mit einem Tiefpaßzweig (8) für niederfrequente Signale insbesondere analoger Kommunikationssysteme und einem Hochpaßzweig (7) für hochfrequente Signale digitaler Kommunikationssysteme mit einer Vielzahl von induktiven Bauelementen (11, 14) mit Magnetkernen, dadurch gekennzeichnet, daß der Hochpaßzweig (7) wenigstens ein Bauelement (11, 14) mit einem Magnetkern aus einer amorphen oder nanokristallinen Legierung umfaßt.
2. Frequenzweiche nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Legierung die Zusammensetzung  $\text{Co}_a(\text{Fe}_{1-c}\text{Mn}_c)_b\text{Ni}_d\text{M}_e\text{Si}_x\text{B}_y\text{C}_z$  aufweist, wobei M ein oder mehrere Elemente aus der Gruppe Nb, Mo, Ta, Cr, W, Ge und P bezeichnet und  $a+b+d+e+x+y+z = 100$  ist, mit
- Co:  $a = 40 - 82 \text{ at\%}$ ,  
Fe+Mn:  $b = 3 - 10 \text{ at\%}$ ,  
Mn/Fe:  $c = 0 - 1$ ,  
Ni:  $d = 0 - 30 \text{ at\%}$ ,  
M:  $e = 0 - 5 \text{ at\%}$ ,  
Si:  $x = 0 - 17 \text{ at\%}$ ,  
B:  $y = 8 - 26 \text{ at\%}$ ,  
C:  $z = 0 - 3 \text{ at\%}$ ,  
 $15 < e+x+y+z < 30$ .
3. Frequenzweiche nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Beziehungen gelten:
- Co:  $a = 50 - 82 \text{ at\%}$ ,  
Fe+Mn:  $b = 3 - 10 \text{ at\%}$ ,  
Mn/Fe:  $c = 0 - 0,5$ ,  
Ni:  $d = 0 - 20 \text{ at\%}$ ,

M:  $e = 0 - 3 \text{ at\%}$ ,  
Si:  $x = 1 - 17 \text{ at\%}$ ,  
B:  $y = 8 - 20 \text{ at\%}$ ,  
C:  $z = 0 - 3 \text{ at\%}$ ,

5 mit  $18 < e + x + y + z < 25$ .

4. Frequenzweiche nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Legierung die Zusammensetzung  $\text{Fe}_a\text{Cu}_c\text{M}_f\text{Si}_d\text{B}_e$  auf-  
weist, wobei M ein Element aus der Gruppe Nb, W, Ta, Zr,  
10 Hf, Ti, Mo oder eine Kombination aus diesen bezeichnet und  
 $a + c + f + d + e = 100 \%$  ist, mit

Fe:  $a = 100 \% - c - f - d - e$ ,  
Cu:  $c = 0,5 - 2 \text{ at\%}$ ,  
15 M:  $f = 1 - 5 \text{ at\%}$ ,  
Si:  $d = 6,5 - 18 \text{ at\%}$ ,  
B:  $e = 5 - 14 \text{ at\%}$ ,

wobei  $d + e > 18 \text{ at\%}$  gilt.

- 20 5. Frequenzweiche nach Anspruch 4,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die folgenden Beziehungen gelten:

Cu:  $c = 0,8 - 1,2 \text{ at\%}$ ,  
M:  $f = 2 - 3 \text{ at\%}$ ,  
25 Si:  $d = 14 - 17 \text{ at\%}$ ,  
B:  $e = 5 - 14 \text{ at\%}$ ,

wobei  $d + e = 22 - 24 \text{ at\%}$ .

- 30 6. Frequenzweiche nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Legierung die Zusammensetzung  $\text{Fe}_x\text{Zr}_y\text{Nb}_z\text{B}_v\text{Cu}_w$  auf-  
weist, wobei  $x + y + z + v + w = 100 \text{ at\%}$  ist, mit

Fe:  $x = 100 \text{ at\%} - y - z - v - w$ ,

Zr:  $y = 2 - 5 \text{ at\%}$ ,  
Nb:  $z = 2 - 5 \text{ at\%}$ ,  
B:  $v = 5 - 9 \text{ at\%}$ ,  
Cu:  $w = 0,5 - 1,5 \text{ at\%}$ ,

5 wobei  $y + z > 5 \text{ at\%}$  und  $y + z + v > 11$  gilt.

7. Frequenzweiche nach Anspruch 6,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Beziehungen gelten:

10 Fe:  $x = 83 - 86 \text{ at\%}$ ,  
Zr:  $y = 3 - 4 \text{ at\%}$ ,  
Nb:  $z = 3 - 4 \text{ at\%}$ ,  
B:  $v = 5 - 9 \text{ at\%}$ ,  
Cu:  $w = 1 \text{ at\%}$ ,

15 wobei  $y + z = 6 - 7 \text{ at\%}$ ,  
und  $y + z + v > 12 - 16 \text{ at\%}$ .

8. Frequenzweiche nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
20 daß die Legierung die Zusammensetzung  $\text{Fe}_x\text{M}_y\text{B}_z\text{Cu}_w$  aufweist,  
wobei M ein Element aus der Gruppe Zr, Hf, Nb bezeichnet  
und  $x + y + z + w = 100 \text{ at\%}$  ist, mit

Fe:  $x = 100 \text{ at\%} - y - z - w$ ,  
M:  $y = 6 - 8 \text{ at\%}$ ,  
25 B:  $z = 3 - 9 \text{ at\%}$ ,  
Cu:  $w = 0 - 1,5 \text{ at\%}$ .

9. Frequenzweiche nach Anspruch 8,  
dadurch gekennzeichnet,  
30 daß die Beziehungen gelten:

Fe:  $x = 83 - 91 \text{ at\%}$ ,  
M:  $y = 7 \text{ at\%}$ ,  
B:  $z = 3 - 9 \text{ at\%}$ ,  
Cu:  $w = 0 - 1,5 \text{ at\%}$ .

10. Frequenzweiche nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Legierung die Zusammensetzung  $(\text{Fe}_{0,98}\text{Co}_{0,02})_{90-x}\text{Zr}_7\text{B}_{2+x}\text{Cu}_1$  aufweist mit  $x = 0 - 3$ , wobei bei entsprechen-  
5 dem Abgleich der restlichen Legierungsbestandteile Co  
durch Ni ersetzbar ist.
11. Frequenzweiche nach Anspruch 10,  
dadurch gekennzeichnet,  
10 daß  $x = 0$  ist.
12. Frequenzweiche nach Anspruch 4,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Legierung zudem ein Element aufweist, das Co oder  
15 Ni ist.
13. Frequenzweiche nach Anspruch 12,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Legierung zudem  $\text{Co}_b$  aufweist mit  
20 Co:  $b = 0-15$  at%
14. Frequenzweiche nach Anspruch 5,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Legierung zudem  $\text{Co}_b$  aufweist mit  
25 Co:  $b = 0-0,5$  at%

This Page Blank (usp:c)

FIG 1

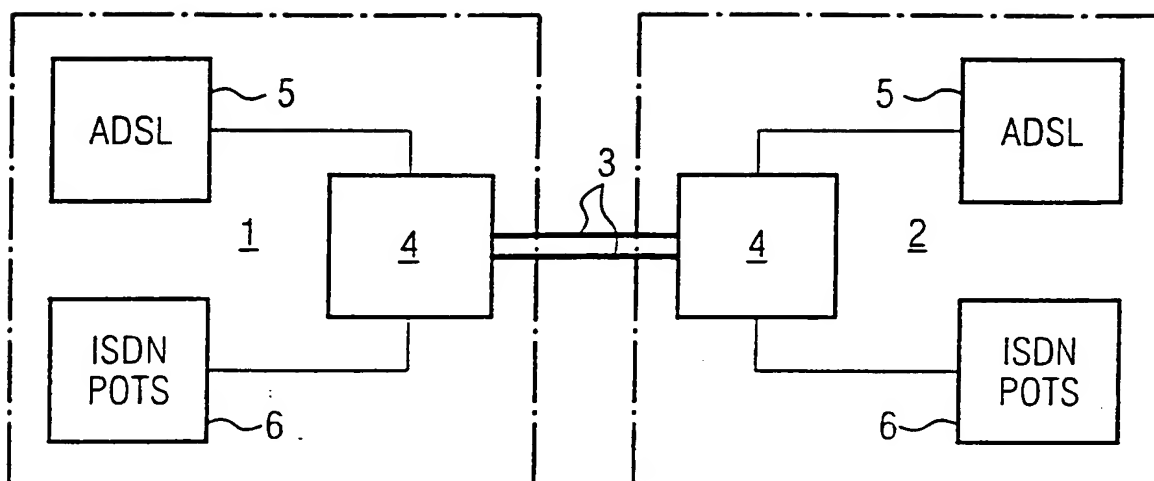
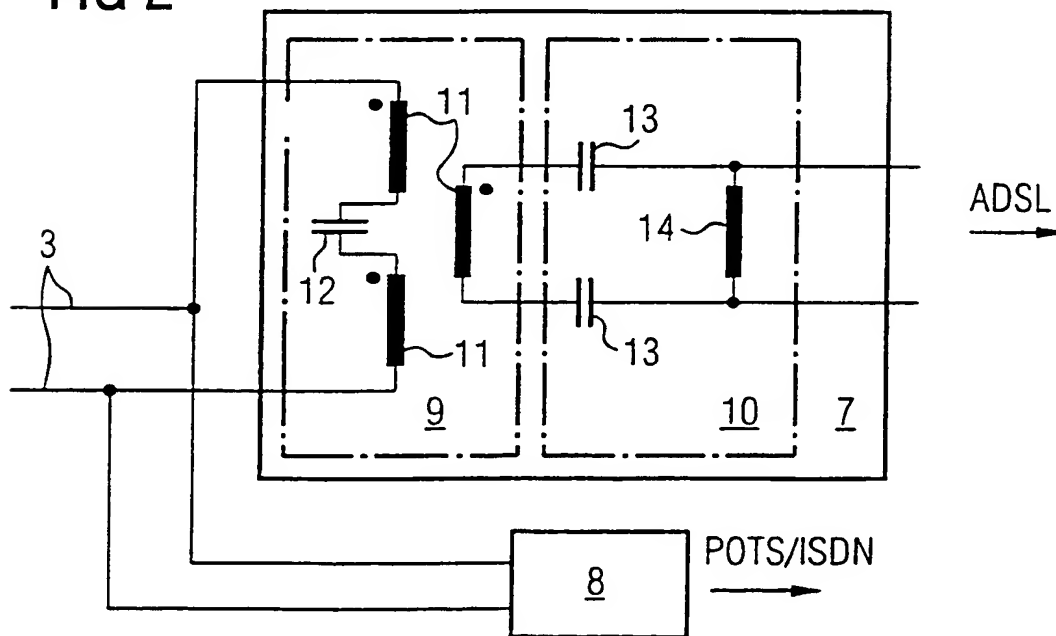


FIG 2



This Page Blank (usps)



FIG 3

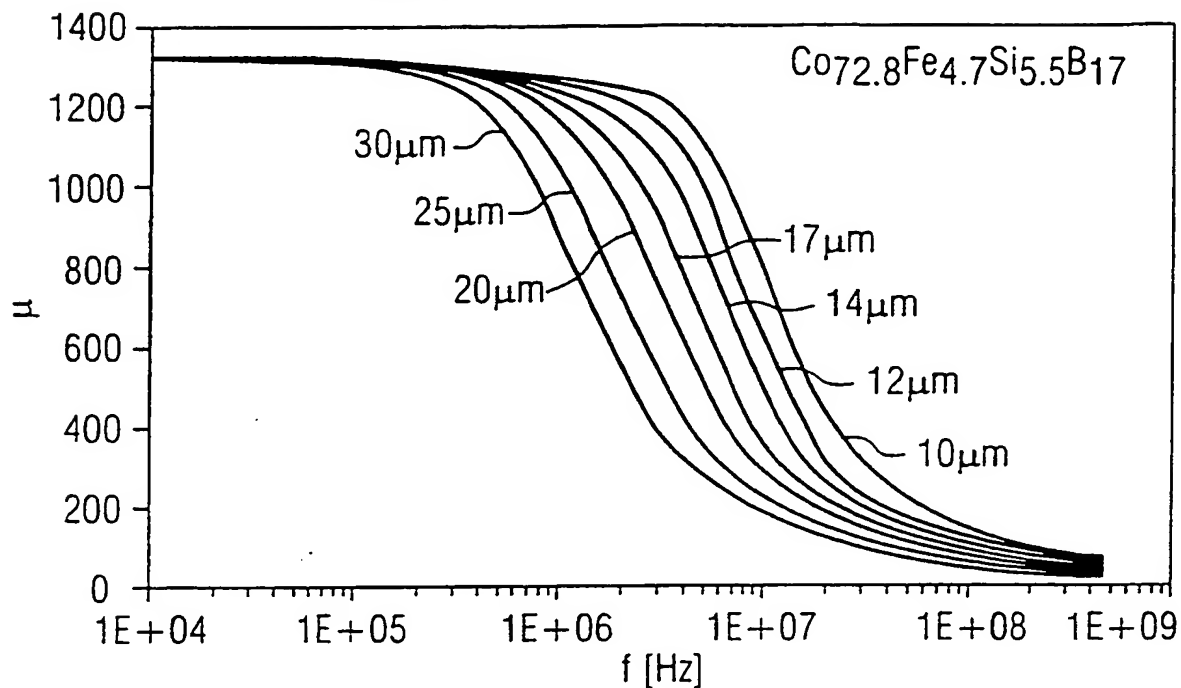
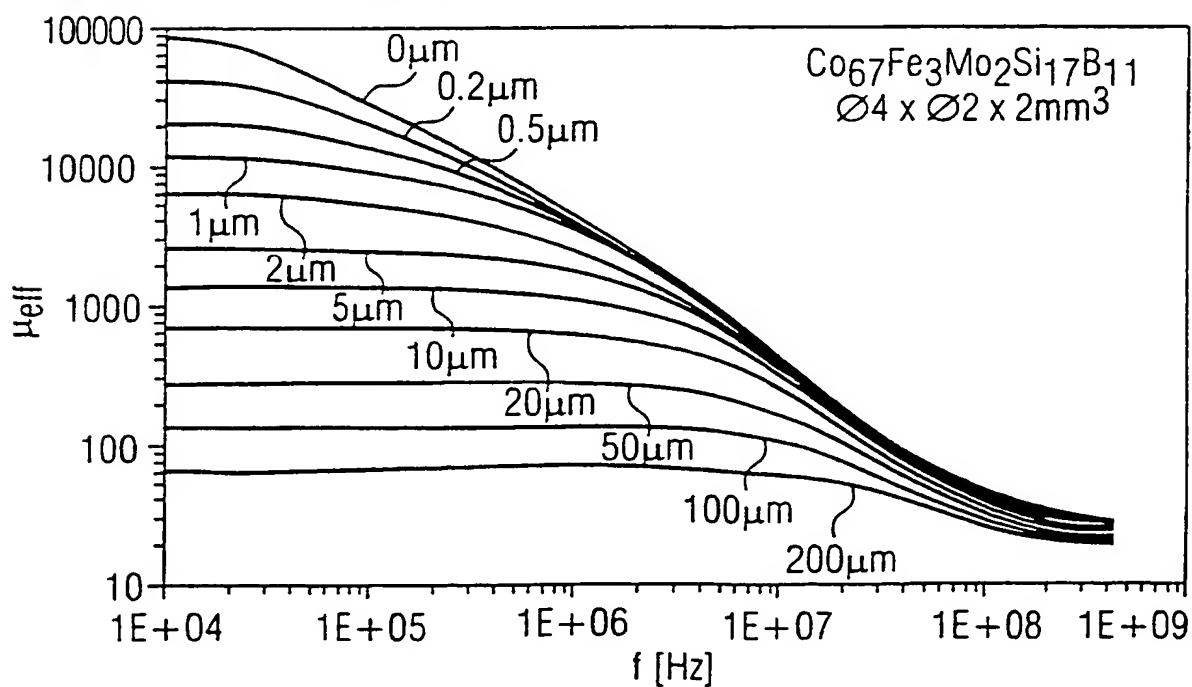
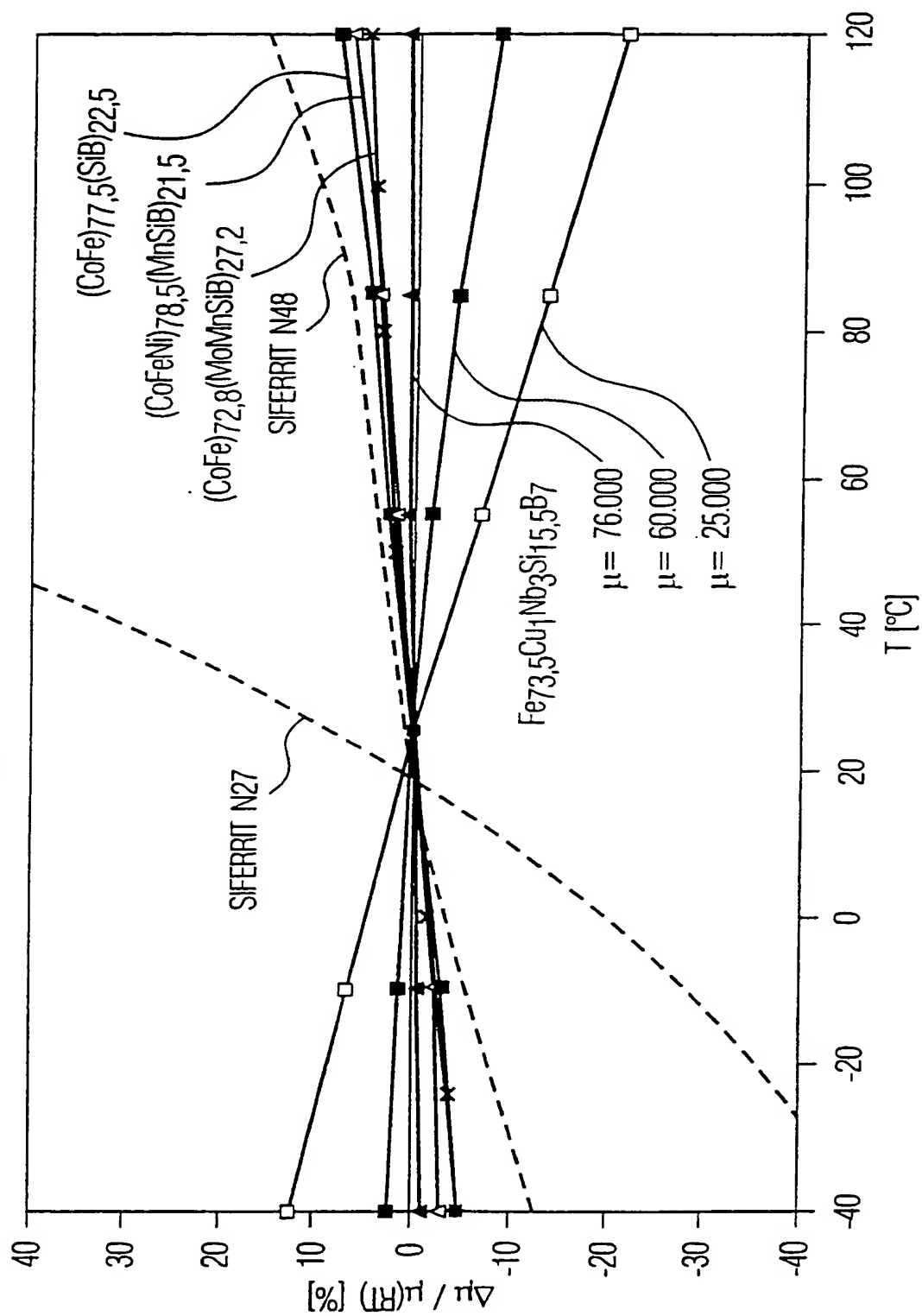


FIG 4



Page Blank (uspto)

FIG 5



This Page Blank (uspto)

FIG 6

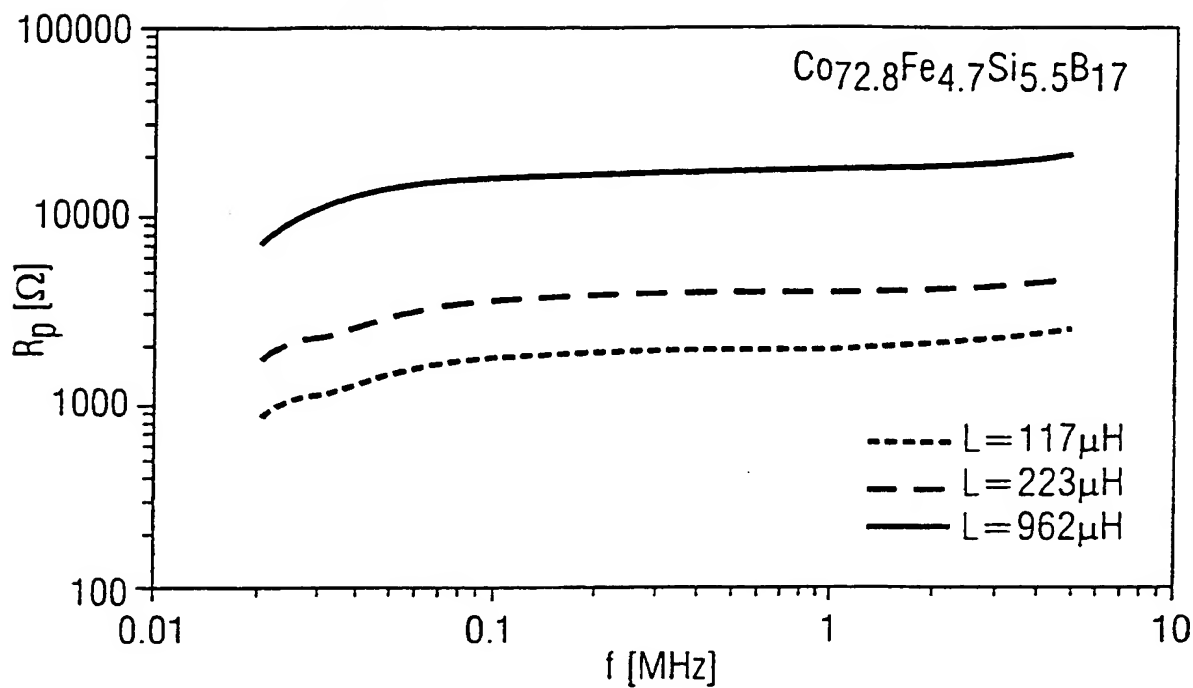
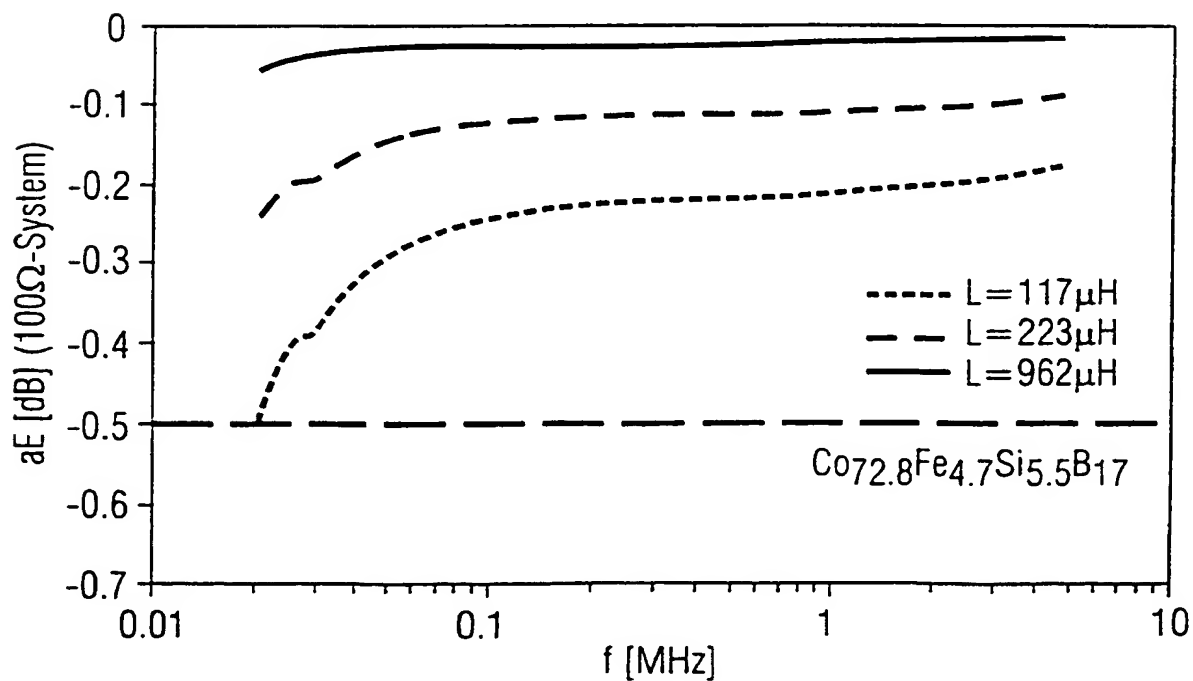
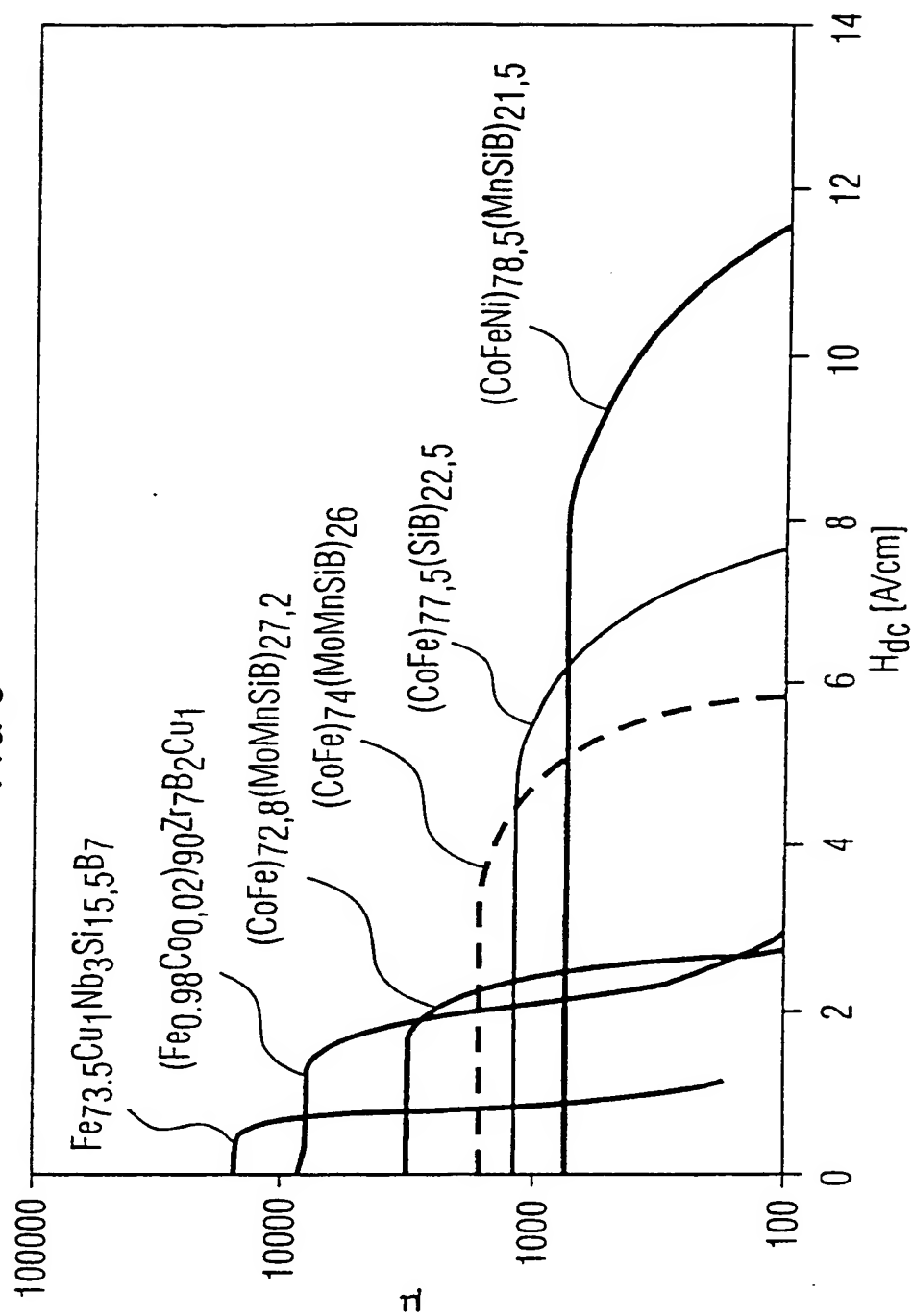


FIG 7



This Page Blank (uspto)

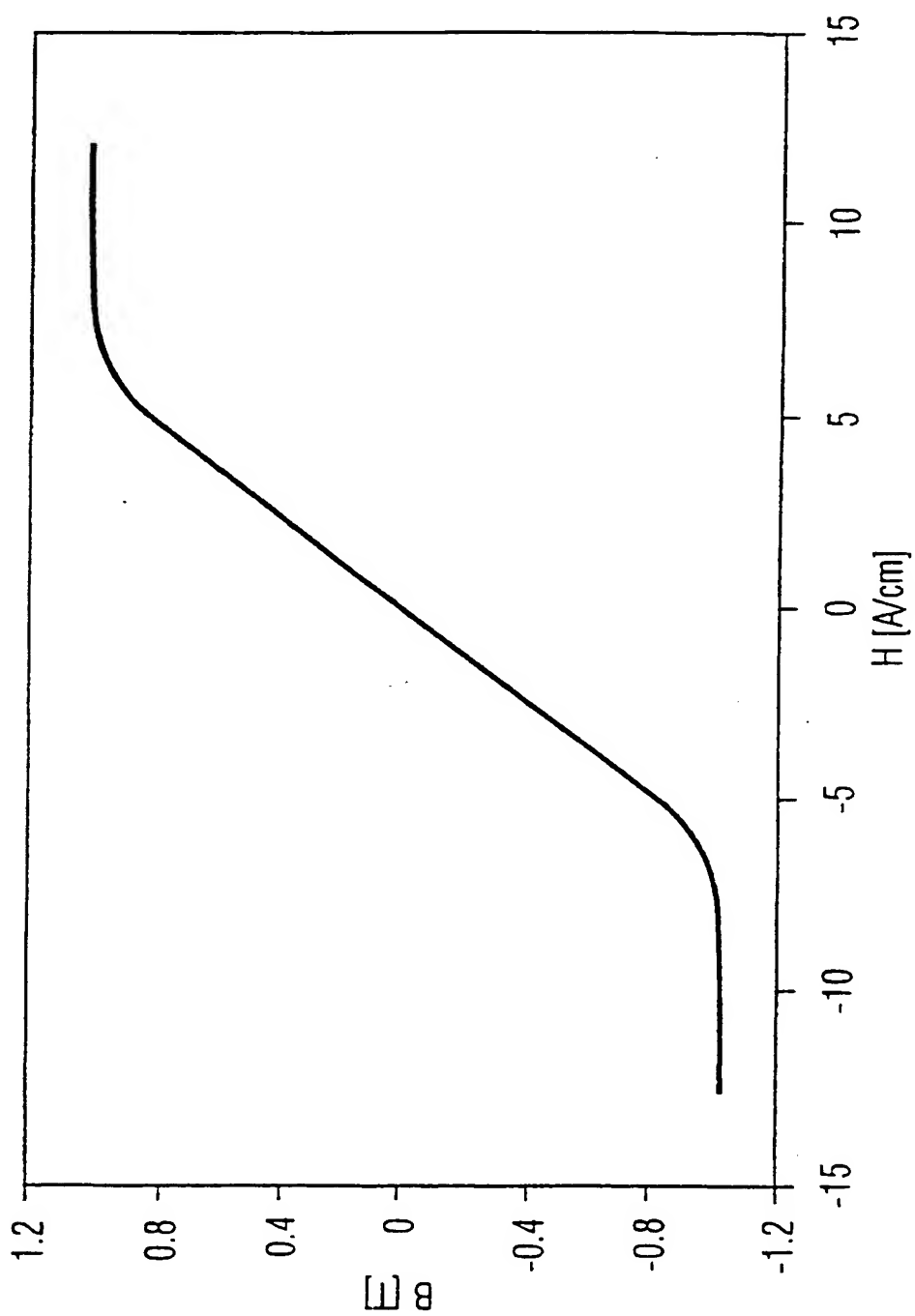
FIG 8



...is Page Blank (usplc)



FIG 9



This Page Blank (usps)

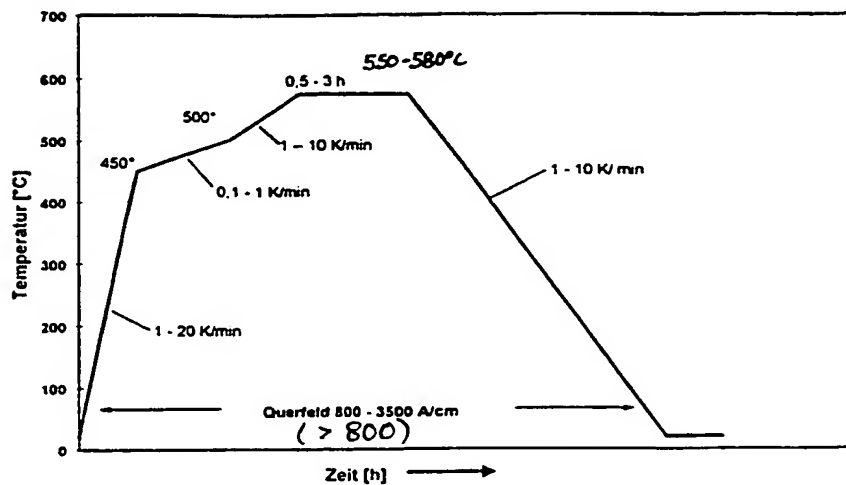


FIG 10

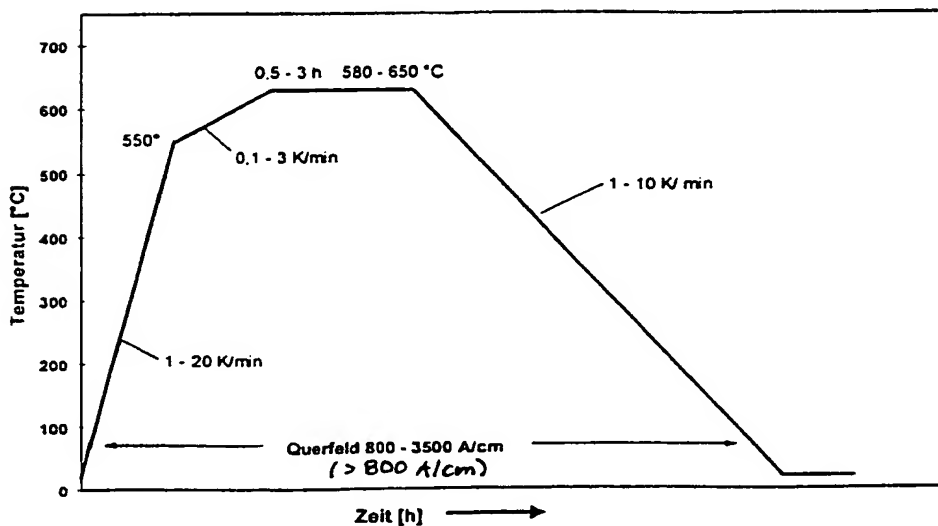


FIG 11

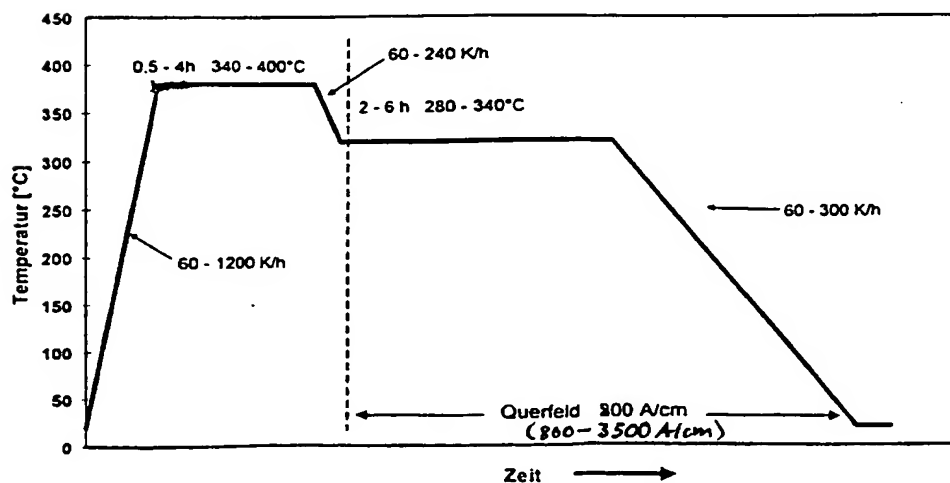


FIG 12

This Page Blank (uspto)

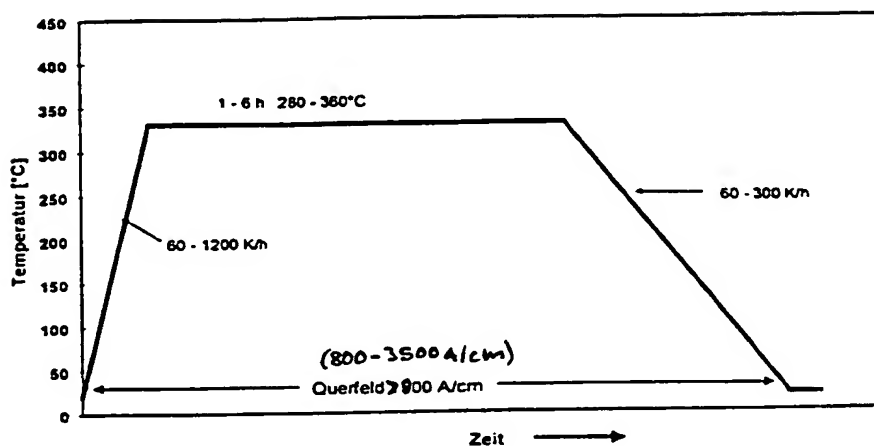


FIG 13

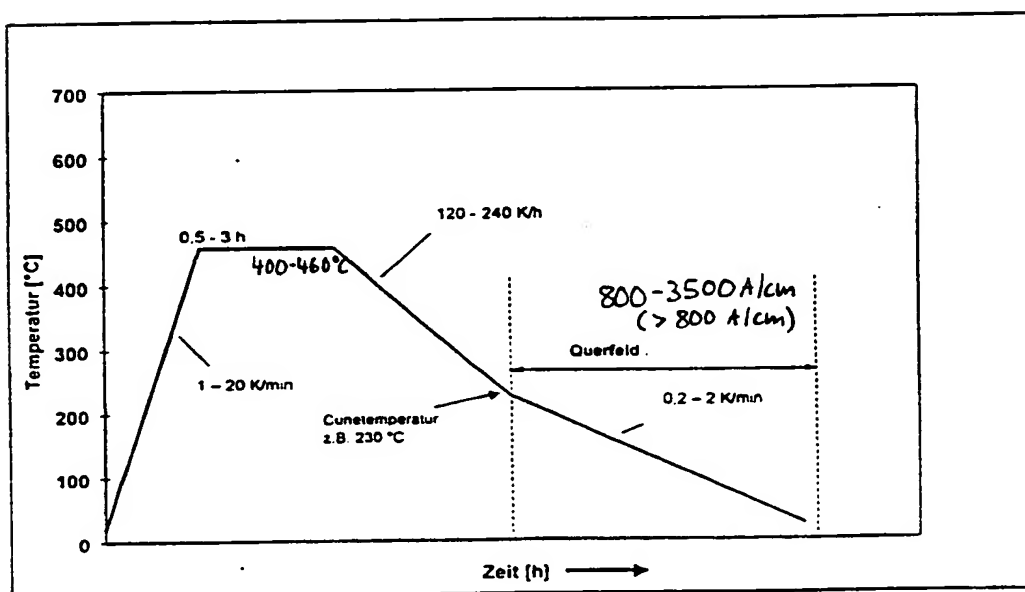


FIG 14

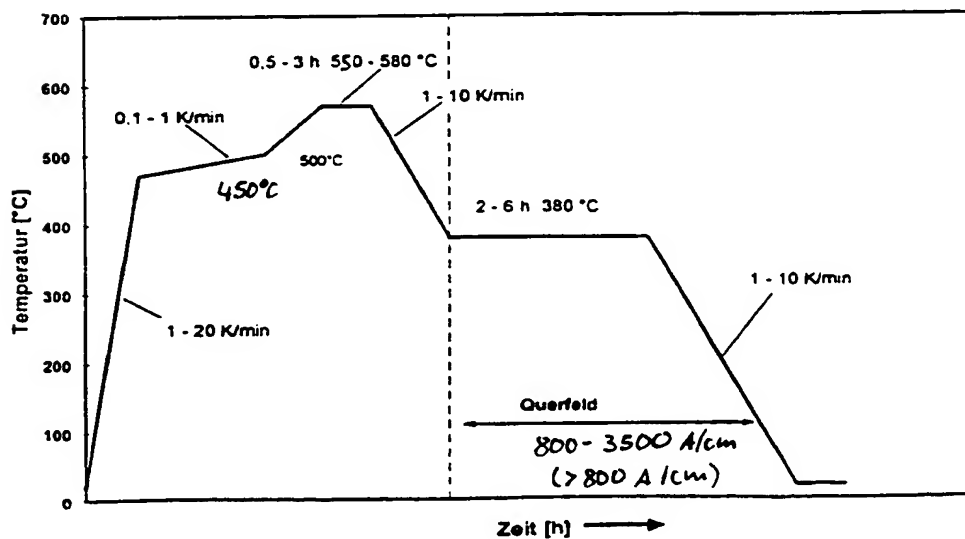


FIG 15

This Page Blank (uspto)

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intr. National Application No

PCT/DE 00/01875

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 H03H7/46 H01F1/153

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H03H H01F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 97 48206 A (NOKIA TELECOMMUNICATIONS OY ;LINDHOLM JARI (FI); TOMMISKA ANTII (F) 18 December 1997 (1997-12-18) page 14 -page 15	1-3
Y	WO 98 12847 A (BEICHLER JOHANNES ;VACUUMSCHMELZE GMBH (DE); PETZOLD JOERG (DE); W) 26 March 1998 (1998-03-26) page 5, line 17 -page 6, line 4 page 11, line 13-29	1-3
Y	EP 0 677 938 A (BELL TELEPHONE MFG) 18 October 1995 (1995-10-18) column 2, line 15 -column 3, line 27; claim 1	1,4,5
	-/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

5 September 2000

Date of mailing of the international search report

11/09/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Coppieters, C

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 00/01875

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 0 637 038 A (HITACHI METALS LTD) 1 February 1995 (1995-02-01) page 2, line 3-9; tables 1,2	1,4,5
A	WO 97 11534 A (ERICSSON AUSTRIA AG ;LISTOPAD MANFRED (AT)) 27 March 1997 (1997-03-27) page 5, line 8 -page 6, line 14; figure 3	1
A	US 5 074 932 A (J.BINKOFSKI ET AL) 24 December 1991 (1991-12-24) the whole document	1,4,6,8



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Application No  
PCT/DE 00/01875

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9748206 A	18-12-1997	AU 2702397 A	07-01-1998
		CA 2257799 A	18-12-1997
		CZ 9803993 A	11-08-1999
		EP 0906676 A	07-04-1999
		PL 330924 A	07-06-1999
WO 9812847 A	26-03-1998	CN 1231094 A	06-10-1999
		EP 0927479 A	07-07-1999
		JP 2000503481 T	21-03-2000
EP 0677938 A	18-10-1995	AU 695672 B	20-08-1998
		AU 1620795 A	26-10-1995
		CA 2147091 A	15-10-1995
		NZ 270834 A	29-01-1997
		US 5627501 A	06-05-1997
EP 0637038 A	01-02-1995	JP 7045440 A	14-02-1995
		JP 7094314 A	07-04-1995
		CN 1100838 A	29-03-1995
		DE 69408916 D	16-04-1998
		DE 69408916 T	12-11-1998
		US 5725686 A	10-03-1998
WO 9711534 A	27-03-1997	AT 405707 B	25-11-1999
		AT 406103 B	25-02-2000
		AT 157395 A	15-02-1999
		AU 6918596 A	09-04-1997
		AT 117696 A	15-06-1999
US 5074932 A	24-12-1991	DE 3911618 A	18-10-1990
		DE 59010366 D	18-07-1996
		EP 0392202 A	17-10-1990
		JP 2295101 A	06-12-1990
		JP 8028290 B	21-03-1996

This Page Blank (uspto)

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int. Aktenzeichen

PCT/DE 00/01875

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 H03H7/46 H01F1/153

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H03H H01F

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	WO 97 48206 A (NOKIA TELECOMMUNICATIONS OY ;LINDHOLM JARI (FI); TOMMISKA ANTII (F) 18. Dezember 1997 (1997-12-18) Seite 14 -Seite 15	1-3
Y	WO 98 12847 A (BEICHLER JOHANNES ;VACUUMSCHMELZE GMBH (DE); PETZOLD JOERG (DE); W) 26. März 1998 (1998-03-26) Seite 5, Zeile 17 -Seite 6, Zeile 4 Seite 11, Zeile 13-29	1-3
Y	EP 0 677 938 A (BELL TELEPHONE MFG) 18. Oktober 1995 (1995-10-18) Spalte 2, Zeile 15 -Spalte 3, Zeile 27; Anspruch 1	1,4,5
	-/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

5. September 2000

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

11/09/2000

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Coppieters, C

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	EP 0 637 038 A (HITACHI METALS LTD) 1. Februar 1995 (1995-02-01) Seite 2, Zeile 3-9; Tabellen 1,2	1,4,5
A	WO 97 11534 A (ERICSSON AUSTRIA AG ;LISTOPAD MANFRED (AT)) 27. März 1997 (1997-03-27) Seite 5, Zeile 8 -Seite 6, Zeile 14; Abbildung 3	1
A	US 5 074 932 A (J.BINKOFSKI ET AL) 24. Dezember 1991 (1991-12-24) das ganze Dokument	1,4,6,8

# INTERNATIONALER RESEARCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Int. Aktenzeichen

PCT/DE 00/01875

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9748206 A	18-12-1997	AU 2702397 A CA 2257799 A CZ 9803993 A EP 0906676 A PL 330924 A	07-01-1998 18-12-1997 11-08-1999 07-04-1999 07-06-1999
WO 9812847 A	26-03-1998	CN 1231094 A EP 0927479 A JP 2000503481 T	06-10-1999 07-07-1999 21-03-2000
EP 0677938 A	18-10-1995	AU 695672 B AU 1620795 A CA 2147091 A NZ 270834 A US 5627501 A	20-08-1998 26-10-1995 15-10-1995 29-01-1997 06-05-1997
EP 0637038 A	01-02-1995	JP 7045440 A JP 7094314 A CN 1100838 A DE 69408916 D DE 69408916 T US 5725686 A	14-02-1995 07-04-1995 29-03-1995 16-04-1998 12-11-1998 10-03-1998
WO 9711534 A	27-03-1997	AT 405707 B AT 406103 B AT 157395 A AU 6918596 A AT 117696 A	25-11-1999 25-02-2000 15-02-1999 09-04-1997 15-06-1999
US 5074932 A	24-12-1991	DE 3911618 A DE 59010366 D EP 0392202 A JP 2295101 A JP 8028290 B	18-10-1990 18-07-1996 17-10-1990 06-12-1990 21-03-1996

THIS PAGE BLANK (USPTO)